
3 3433 06273756 8

ANNALES
DES MINES,

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES,

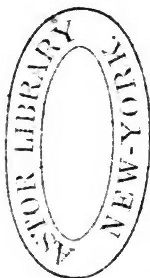
ET SUR LES SCIENCES QUI S'Y RAPPORTENT;

Rédigées par le Conseil général des Mines,

PUBLIÉES

Sous l'autorisation du Conseiller d'État, Directeur général des Ponts et Chaussées et des Mines.

DEUXIÈME SÉRIE.



TOME VI.

A PARIS,

Chez TREUTTEL et WÜRTZ, Libraires, rue de Bourbon, n°. 17; et même Maison de Commerce,

A LONDRES, 30 Soho-Square, et à STRASBOURG, rue des Serruriers, n°. 3.

1829.

AVIS

A MM. LES SOUSCRIPTEURS.

Il a été décidé que la *première série* des *Annales des Mines* se terminerait avec le volume XIII. Une table analytique des matières contenues dans cette série en formera le quatorzième volume.

D'après cette décision, le présent volume est le *sixième de la deuxième série*.

Les *Annales des Mines* continueront de paraître, *de deux mois en deux mois*, par livraisons, dont chacune comprendra, au moins, *dix feuilles* d'impression.

Les six livraisons d'une même année formeront *deux volumes*. On y joindra les tableaux, cartes et planches nécessaires à l'intelligence du texte.

Le prix de la souscription sera toujours de *vingt francs*, par an, pour Paris, et de *vingt-quatre francs* pour les Départemens.

On s'abonne, à Paris, chez MM. Treuttel et Würtz, libraires, rue de Bourbon, n°. 17, ainsi que dans leurs maisons établies à Londres, 30 Soho-Square, et à Strasbourg, rue des Serruriers, n°. 3.

On a réservé un certain nombre d'exemplaires des *Annales des Mines*, pour être envoyés, à titre d'échange, aux Rédacteurs des ouvrages périodiques qui sont relatifs aux sciences et aux arts.

Paris. — Imprimerie de Madame Huzard (née Vallat la Chapelle), rue de l'Éperon, n°. 7.

De la Préparation des minérais d'étain et de cuivre en Cornouailles;

Par MM. COSTE et PERDONNET.

I. PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINÉRAIS D'ÉTAIN.

Ce travail a déjà été décrit par MM. Dufrénoy et de Beaumont; les renseignemens que nous allons donner, recueillis à une autre époque et quelquefois dans d'autres établissemens, diffèrent en partie de ceux qu'ont publiés ces ingénieurs.

I. *Lavage des minérais d'étain à Polgooth.*

1°. Voici la description du procédé suivi à Polgooth, près Saint-Austle.

Bocardage.

Tous les minérais sont bocardés; les bocards de Polgooth reçoivent le mouvement de roues hydrauliques ou de machines à vapeur; ils se composent de batteries à trois ou quatre pilons, suivant la quantité d'eau dont on peut disposer pour laver le minérai.

Lorsque les batteries sont à trois pilons, l'on n'a que deux ouvertures pour la sortie du produit bocardé, l'une au milieu de la face de devant de l'auge, l'autre sur le côté. Lorsqu'il y a quatre pilons, l'on a trois ouvertures, deux sur les côtés, et une sur le devant.

Les flèches sont en bois et ont 6 pouces (1) ($0^m,15$) sur 5 $\frac{1}{2}$ ($5^m,14$) d'équarrissage; elles portent des mentonnets assujettis par un coin *b* en bois, et une cheville *c* en fer, comme l'indique

(1) Un pouce anglais = $0^m,025391$.
Un pied = $0^m,304692$.

la *fig.* 7, Pl. I, et se terminent par une masse A (*fig.* 8) en fonte, qui s'engage par une queue dans la tige en bois. Cette masse ou tête de pilon (*head*) a 6 pouces (0^m,15) de côté sur 10 ½ (0^m,35) et 14 pouces (0^m,35) de haut; elle pèse environ 2 quintaux ½ (1) (1^m,27). Des anneaux en fer *a* et *a'* servent de renfort à la flèche.

Un arbre communique le mouvement aux pilons à l'aide de cames qui en soulèvent les mentonnets, et qui sont disposées de telle façon que la seconde flèche tombe pendant que la première et la troisième sont soulevées, *et vice versâ.* Il y a quatre cames sur une même circonférence, et l'arbre fait sept tours par minute. Chaque pilon donne ainsi vingt-huit coups par minute; la course est de 7 pouces ½ (0^m,19). La caisse des bocards est ouverte par derrière, et le minérai descend sous les pilons, par son poids, le long d'un plan incliné avec un courant d'eau, qui ensuite l'entraîne au dehors. Le fond des auges est en minérai battu.

Les ouvertures sur le devant ou sur les côtés sont de même dimension; elles ont 7 pouces 10 lignes (0^m,19), sur 7 pouces 4 lignes (0^m,18); elles sont fermées par un cadre de fer, qui porte une plaque de tôle percée de trous. Ces trous sont coniques, et par conséquent d'un diamètre moindre sur une des faces de la plaque que sur l'autre; on place leur petite ouverture du côté de l'intérieur de l'auge. Leurs dimensions varient suivant la nature des minérais, nous avons vu une plaque percée de 158 trous par pouce carré.

(1) Un quintal anglais = 112 livres anglaises = 50k,747.
Une livre anglaise = 0k,4531.

Au sortir des auges, le minérai bocardé dépose dans un premier bassin un produit dit *rough*, et dans d'autres bassins à la suite des produits dits *slimes*.

Le rough est lavé dans des caisses à tombeau (*buddles*) et des cuves (*tossing tubs*); les slimes dans des caisses à débourber (*trunks*), et sur des espèces de jumelles (*racks*).

Lavage des sables de bocard.

Lavage dans les caisses à tombeau (*buddles*).

Les caisses à tombeau, semblables à celles que l'on emploie en Allemagne, ont, en longueur, 8 pieds ($2^m,44$); en largeur, 3 pieds ($0^m,91$), et en profondeur 2 pieds ($0^m,61$).

L'inclinaison du fond est d'un huitième.

Le produit est placé à la tête de la table par petites portions. Un enfant, avec une pelle de fer en langue de carpe, commence par l'étendre, puis y pratique une suite de rainures longitudinales parallèles, dans lesquelles l'eau coule en entraînant le minérai.

La caisse étant pleine, l'ouvrier y forme trois divisions, qui sont plus ou moins riches, suivant leur éloignement de la partie supérieure. En les retirant et les jetant sur le sol, il obtient trois tas, A, B, C.

A est relavé de la même manière, et donne quatre produits, A', B', C', D'.

A' subit la même opération jusqu'à ce qu'enfin l'on obtienne un produit A'' ou A''' assez pur pour être lavé à la cuve (*tossing tub*). B' forme un tas à part, auquel est joint un produit A d'une nouvelle opération. C' est joint à B, et D' à C.

Enfin, après un nombre de lavages semblables

plus ou moins grand suivant la richesse du produit, l'on finit par obtenir un tas n°. I de minérai bon à laver à la cuve; un tas n°. II de minérai moins riche provenant des secondes tranches, bon aussi à laver à la cuve; un tas n°. III relavé dans les caissons, et un tas n°. IV lavé dans les *drudges* ou canaux, comme nous l'expliquerons plus loin.

Lavage à la cuve (*tossing*).

Le lavage dit *tossing* est fort simple.

On jette le minérai dans de grandes cuves cylindriques ou légèrement coniques, avec une certaine quantité d'eau; un ouvrier agite et mêle le tout ensemble avec une pelle en fer, pendant trois ou quatre minutes. Il enlève ensuite une petite partie de l'eau avec un seau à manche; puis un aide frappe pendant huit à dix minutes avec un marteau sur les parois de la cuve, ce qui fait déposer les parties les plus lourdes; après quoi, l'on renverse celle-ci pour la vider entièrement de liquide, et l'on divise le minérai resté au fond en trois tranches.

Les deux tranches supérieures de moindre richesse sont lavées séparément sur les tables semblables aux jumelles (*racks*); la tranche inférieure, très épaisse, est envoyée à des fourneaux de calcination.

Les tas provenant des caissons allemands, que nous avons désignés par les n^{os}. I et II, sont lavés à la cuve de la même manière; seulement les cuves dans lesquelles on lave les produits des tas n°. II sont plus grandes. Les unes ont 2 pieds (0^{m},61) de haut sur 2 pieds 2 pouces (0^{m},66) de diamètre, les autres 2 pieds (0^{m},61) de haut sur 3 pieds (0^{m},91) de diamètre.

Lavage des bourbes.

Lavage dans les canaux (*drudges*).

Cette opération est une espèce de débourbage qui a lieu au moyen d'un courant d'eau passant avec plus ou moins de rapidité sur le produit dans des conduits étroits.

On recueille, à différentes distances, dans le canal, trois produits A, B, C.

Le produit A est débourbé de nouveau de la même manière, jusqu'à ce que le résidu paraisse suffisamment riche pour être bocardé de nouveau.

La bourbe est recueillie dans un bassin, et ensuite lavée sur une jumelle.

Le produit B est aussi débourbé. Cela exige seulement plus de temps qu'avec le produit A, pour que l'on arrive à un produit digne d'être rebocardé.

Il en est de même du produit C.

Lavage des slimes.

Débourbage dans la caisse à débourber (*trunking-box*).

Les slimes sont d'abord débourbés dans une caisse appelée *trunkingbox*. Cette caisse a 7 ou 8 pieds (2^m,13 à 2^m,43) de longueur. La coupe et le plan, *fig.* 11 et 12, Pl. I, donnent une idée de sa forme et de ses autres dimensions.

Le *slime* est accumulé en M. L'ouvrier le pousse en arrière, avec une pelle, de *a* vers *b*. Les parties métalliques sont portées et déposées par un courant d'eau sur la table, les parties terreuses sont entraînées dans un bassin à la suite.

Le produit, recueilli dans la caisse, est divisé en deux parties, dont une est relavée une seule fois et une autre deux fois sur la jumelle.

Lavage sur les jumelles (*racks*).

Les *racks* se composent d'un cadre C, *fig.* 5 et 6,

Pl. I, portant un plancher *abcd* incliné à l'horizon, et susceptible de tourner sur deux tourillons K et K'. Un plan incliné T sert de tête à la table. Une planchette P, qui s'y attache par une bande de cuir L, établit la communication avec la partie C.

L'inclinaison de ces tables est ordinairement de 5 pouces sur 9 pieds. On la fait un peu varier suivant la nature des minérais. Si le produit est en poudre très ténue, on donne moins d'inclinaison, et moins d'eau, *et vice versâ.*

Le minérai est jeté en T par petites portions de 20 à 25 livres ($9^k,06$ à $11^k,33$). Une femme l'étend avec un râble, tandis qu'un courant d'eau en entraîne une partie sur la table, où ensuite elle le lave. Les bourbes fines tombent par une fente F dans un bassin B.

Lorsqu'après quelques minutes de travail, le *schlich* paraît assez riche; l'ouvrière fait tourner la table autour de l'axe K K', en sorte qu'il tombe dans les cases placées au dessous.

En B sont les bourbes; en B' est un schlich impur que l'on relave sur la jumelle; en B'', un schlich bon à griller.

Grillage.

On sait que le but du grillage des minérais d'étain est de changer la pesanteur spécifique des divers élémens, afin d'en opérer ensuite plus facilement la séparation par un nouveau lavage. La théorie de cette opération est très clairement expliquée dans l'ouvrage de MM. Dufrénoy et de Beaumont.

Les fourneaux de grillage ont généralement une voûte plate peu élevée au dessus de la sole et un pont d'assez petite hauteur.

Leurs dimensions sont variables. La sole d'un des fourneaux de Polgooth avait 12 pieds 6 pouces (3^m,80) de longueur sur 7 pieds 6 pouces (2^m,28) de largeur. La distance de la sole à la voûte était 1 pied (0^m,30). La grille avait 7 pieds 6 pouces (2^m,28) sur 9 pouces.

Un très long canal servait à emmener les vapeurs arsenicales de l'autre côté de la colline, sur laquelle était placé le fourneau.

La durée du grillage varie, suivant les minérais, entre huit et quinze heures.

Lavage des schlichs grillés.

Les schlichs grillés sont criblés dans des cribles ronds, et auxquels on donne un mouvement horizontal dans des cuves remplies d'eau.

Les parties qui restent sur le crible sont des morceaux pierreux assez gros; on les bocarde et les lave comme minérai riche.

Les parties qui traversent sont lavées dans les caissons allemands comme le minérai non grillé. On obtient ainsi des parties A qui sont du schlich suffisamment pur pour être livré aux usines, des parties B qui sont relavées dans les caissons et des parties C qui sont relavées sur les jumelles.

Les caissons pour le lavage du minérai grillé ont les mêmes dimensions en longueur et largeur que pour celui du minérai non grillé. L'inclinaison du fond est plus grande; elle est d'un pied 4 pouces (0^m,40) sur 8 pieds (2^m,44).

L'inclinaison des *racks* pour le lavage du minérai grillé est ordinairement de 7 $\frac{3}{4}$ pouces sur 9 pieds (0^m,07).

II. *Lavage des minérais d'étain à Poldice.*

Nous avons suivi le lavage des minérais d'étain à la mine de Poldice près Redruth.

Les minérais y sont tous bocardés comme à Polgooth.

Bocardage.

Plusieurs batteries de bocards sont à six flèches; les tiges sont séparées par des planches qui ont la faculté de se mouvoir de haut en bas, ce qui diminue le frottement. Le poids des pilons est d'environ 3 quintaux (152^{k}.).

L'arbre à cames fait dix tours par minute; il porte six cames, la levée des pistons est de 8 à 9 pieds (2^{m},44 à 2^{m},75).

Quatre grilles servent à la sortie du minérai; il y en a deux sur le devant et deux sur les côtés. Elles sont en cuivre rouge, parce que les eaux étant très chargées de sulfate de cuivre attaqueraient très fortement les grilles de fer. Le minérai de Poldice étant plus riche que celui de Polgooth, le diamètre des trous est plus grand à Poldice pour les variétés supérieures, nous en avons compté 42 au pouce carré; pour celles de moindre qualité, 81.

On bocarde en douze heures, avec six batteries de six flèches chacune, cent vingt sacs de minérai, le sac étant de dix-huit gallons, et le gallon de 282 pouces cubes. Cela fait 352 pieds cubes et 864 pouces ($9^{m.c.}$,864).

Le procédé de lavage ne diffère pas essentiellement de celui de Polgooth.

Grillage.

Forme et dimensions des fourneaux.

Nous avons esquissé à Poldice un des fourneaux de grillage.

La grille avait 1 pied ($0^m,30$) sur 4 ($1^m,32$); elle était située au même niveau que la sole, et n'en était séparée que par une rangée de briques posées à plat, de la hauteur de 2 pouces ($0^m,05$).

La longueur de la sole était de 9 pieds 6 pouces ($2^m,74$); la largeur, 8 pieds ($2^m,44$); la distance à la voûte, 1 pied ($0^m,30$). La voûte était à peu près horizontale.

Ce fourneau se faisait remarquer surtout par la bonne construction des canaux destinés à condenser les vapeurs arsenicales.

A l'extrémité antérieure de la voûte près de la porte, s'élevait un canal, qui, d'abord vertical, devenait ensuite horizontal ou légèrement incliné, et aboutissait, après avoir parcouru près d'un quart de mille (environ 400 mètres), à une grande cheminée. Ses dimensions étaient 1 pied ($0^m,30$) sur 1 pied 8 pouces ($0^m,51$). Il n'était fermé au dessus que par des dalles de pierre qu'on pouvait enlever facilement pour le nettoyer; on en retirait de l'arsenic, qui se vendait 10 shillings (1) (12 fr. 60 c.) la tonne.

En dehors du fourneau, au dessus de la porte de travail, était aussi un manteau de cheminée surmonté d'un canal d'une quinzaine de pieds ($4^m,06$).

De semblables dispositions, favorables à la santé des ouvriers et à la végétation, ont été adoptées dans toutes les usines d'Angleterre. Il est fâcheux qu'elles n'aient pas encore été imitées dans les nombreux établissemens d'Allemagne.

On charge dans ce fourneau 6 quintaux ($3^{qm},05$) à la fois.

(1) Le shilling = 12 pences = 1 f. 26.

de les stratifier dans la trémie ou du moins de les mélanger.

Le diamètre et la longueur des cylindres inférieurs C′C′ sont donnés par la *fig.* 10. On remarquera que *a b* est une partie carrée faisant suite au tourillon *t*, laquelle empêche le cylindre de se mouvoir dans le sens de son axe. Le diamètre des cylindres supérieurs est de 2 pouces ($0^m,05$) plus grand que celui des cylindres inférieurs. Leur longueur est la même.

Les uns et les autres sont en fonte blanche; ils durent en moyenne un mois seulement, s'ils sont de bonne qualité.

Le nombre de révolutions qu'ils font par minute varie, suivant la dureté de la substance à écraser, entre dix et quinze. Il est en moyenne de douze.

Cette machine broie 50 tonnes de minérai riche en douze heures. Elle écrase moins de minérai de seconde qualité dans le même temps.

Le cylindre de la machine à vapeur qui imprime le mouvement à cette machine à broyer a 26 pouces ($0^m,66$) de diamètre.

La course du piston est de 7 pieds ($2^m,14$);

Le nombre de courses par minute, de seize à dix-sept.

La pression de la vapeur est très variable. Le plus souvent elle est de 15 livres par pouce carré du piston ($1^k,13$ par centimètre carré), et s'élève quelquefois à 30 livres.

Cette machine à vapeur fait marcher, outre la machine à broyer, six batteries de bocards à trois pilons, et quatre batteries à quatre pilons, en tout trente-quatre flèches, et elle élève l'eau qui les alimente.

L'arbre à cames fait treize tours par minute,

et porte six cames sur une même circonférence. Ainsi, chaque flèche tombe soixante-dix-huit fois par minute.

La levée des pilons est de 8 pouces ($0^{m},20$), leur poids, 3 quintaux ($152^{k},25$).

L'eau est élevée à 12 pieds ($3^{m},65$) dans un corps de pompe qui a 20 pouces ($0^{m},50$) de diamètre.

La course du piston de la pompe est d'environ 3 pieds ($0^{m},91$); le nombre de coups par minute, de seize à dix-sept. La bielle verticale placée à l'extrémité du balancier opposée à celle qui se lie au piston du cylindre à vapeur meut une double manivelle placée entre deux volans, chacun de 6 pieds ($1^{m},83$) de diamètre.

D'après ce qui précède, faisant usage de la formule $F = \pi R^2 PV$, dans laquelle F représente la force de la machine, π le rapport de la circonférence au diamètre, R le rayon du piston, P le poids qu'il supporte, et V l'espace qu'il parcourt en une minute; et en admettant pour l'expression de la force du cheval de vapeur 32,500 livres élevées à 1 pied par minute (4,500 kilogr. à 1 mètre), on trouve pour la valeur de F en nombre rond 55 chevaux. La partie de cette force employée pour soulever les flèches de bocard et faire monter l'eau qui leur est nécessaire, déterminée par le calcul, est d'environ 19 chevaux. Restent 36 chevaux pour la force perdue dans les chocs, les frottemens, etc., et pour celle employée à élever l'eau de la chaudière et du condenseur, et à faire marcher la machine à broyer. Si de ces 36 chevaux on en soustrait 16 pour les chocs, frottemens, etc., il en reste 20 pour la machine à broyer. Calcul de l'effet de la machine.

Revenons à la description du procédé.

A' étant écrasé pour schlich bon à fondre, le diamètre des trous des cribles de la machine est trois huitièmes de pouce (0^m,009).

A'', donnant un produit qui exige le lavage, ce diamètre n'est que de deux huitièmes de pouce (0^m,006).

A'', après avoir été broyé, est jeté sur un crible, que l'on agite ensuite dans l'eau horizontalement, il se forme alors trois produits :

A''', qui traverse le crible et se rassemble au fond d'un canal, est un produit bon pour la fonderie.

A'''', recueilli au fond du crible, est aussi considéré comme schlich bon à vendre.

Enfin A''''', qui formait la tranche supérieure dans le crible, est lavé comme nous l'expliquerons plus loin.

Cette opération porte le nom de *jigging*.

On compte dans la grille des cribles de six à sept trous par pouce carré.

Débourbage dans un canal.

A''' est débourbé dans une espèce de très longue caisse, dans laquelle passe un courant d'eau plus ou moins abondant.

Il se forme deux dépôts : l'un à la partie supérieure *a*, relavé de la même manière;

L'autre à la partie inférieure *b*, envoyé au bocard.

Après avoir fait subir cette opération deux ou trois fois au produit *a*, on obtient un schlich *a''* ou *a'''*, bon à vendre.

La pente du fond de la grande caisse était de 2 pouces sur 6 pieds (0,028).

On donne plus d'eau au premier lavage qu'au

second, et plus au second qu'au troisième, en général d'autant moins que la substance est plus riche et plus ténue.

Cette opération porte le nom de *tie*.

Bocardage.

Les bocards pour les minérais de cuivre sont les mêmes que pour les minérais d'étain.

Le poids des pilons est 2 ½ à 3 quintaux.

Les trous des grilles ont en général un huitième de pouce ($0^m,003$) de diamètre; mais plus le minérai est pauvre, plus on diminue leur grandeur, *et vice versâ*.

Au sortir du bocard on obtient:

Dans un premier bassin,

A (*rough*);

Dans des bassins suivans,

B, slimes de différentes qualités.

A est débourbé dans une caisse dite *shaking-trunk*. On obtient alors trois produits A′, A″, A‴; A′, dans le creux qui est à la tête de la table; A″ et A‴ sur la table même.

A′ subit l'opération que nous avons décrite sous le nom de *tie*.

A″ et A‴ sont lavés séparément dans des caissons allemands.

La pente du fond des shaking-trunks est à peu près nulle; elle ne dépasse pas un demi-pouce sur 6 pieds (0,07): c'est la même que celle du fond des labyrinthes.

Les caissons allemands ont 9 pieds ($0^m,74$) de longueur sur 3 pieds ($0^m,91$) de largeur et 2 pieds 2 pouces ($0^m,66$) de profondeur. L'inclinaison du fond est de 8 pouces sur 6 pieds ($0^m,11$).

Le lavage dans cet appareil a lieu comme pour

le minérai d'étain. La partie supérieure, après un certain nombre d'opérations, est lavée à la cuve (*tossing tub*). La partie inférieure, comme on n'a pas de jumelles, est relavée dans les caissons.

Lavage à la cuve.

Dans une opération de lavage à la cuve que nous avons suivie, on a enlevé quatre tranches de minérai, séparées exactement, comme l'indiquent les lignes *ab*, *cd*, *efg*, *hik*, *fig.* 13, Pl. I.

La tranche A a été débourbée de nouveau dans les *trunking-box*.

B a été relavé dans les caissons allemands.

C a été mis à part comme schlich bon à vendre : c'était la partie la plus considérable.

Enfin, D, formant un noyau dans le centre de la cuve, a été passé dans des cribles à grilles en cuivre, ayant dix-huit trous au pouce carré. Ce produit en a donné alors deux nouveaux :

D', qui a traversé la grille, et a été mis à part comme schlich pur;

D'', resté sur le crible, qui tantôt est rejeté, et tantôt subit l'opération dite *tie*.

Lavage des slimes.

On les débourbe d'abord dans des *trunking-box* ordinaires, et l'on obtient trois produits :

a, qui est débourbé de nouveau, et subit l'opération dite *tie;*

b, lavé dans les caissons allemands;

c, rejeté, ou quelquefois lavé de nouveau dans la trunking-box.

Machine à broyer de Lanescot.

On a aussi sur la mine de cuivre de Lanescot, pour la préparation des minérais, une machine

à broyer. Cette machine n'a qu'une seule paire de cylindres : ceux-ci ont 2 pieds de longueur et 18 pouces de diamètre ; ils font dix révolutions par minute. Le minérai broyé tombe dans l'intérieur d'un cylindre creux incliné à l'horizon, dont l'enveloppe est une toile métallique en fer. Cette toile est maintenue par des barres longitudinales et des cercles placés de distance en distance. La substance entre par une des bases du tamis cylindrique ; une partie traverse la toile et une autre partie, moins ténue, est rejetée par la base inférieure.

Le nombre de trous de la toile métallique varie suivant la nature de la substance à écraser.

Cette machine reçoit le mouvement d'une roue à eau qui a 24 pieds de diamètre et 3 pieds en œuvre, et prend l'eau à son sommet.

La roue dépense environ 2,500 gallons d'eau par minute ; le gallon est de 9 $\frac{1}{2}$ livres : ainsi, la force calculée est 2,500 $\times$ 9 $\frac{1}{2}$ livres, ou 23,750 livres élevées à 24 pieds par minute, ou 570,000 livres élevées à 1 pied ; ce qui fait en chevaux environ 17 $\frac{1}{2}$ chevaux.

On n'a pas pu nous dire quelle était la quantité de minérai écrasée pendant un certain temps. Il n'est pas probable, si l'on tient compte des frottemens de la machine à broyer, qu'il y ait plus de la moitié de la force calculée utilisée.

CONCLUSION.

On voit que le procédé de lavage de Pembroke pour les minérais de cuivre diffère de celui qu'ont décrit MM. Dufrénoy et de Beaumont, par l'emploi de la machine à broyer, bien supérieur à celui des battes.

A la mine de Poldice, on suit la même méthode; mais on se sert encore de battes.

Nous aurons occasion, en parlant dans un autre article de la préparation des minérais de plomb, de revenir sur la machine à broyer, qui commence à se répandre beaucoup en Angleterre; elle semble susceptible d'être également employée avec avantage en France et en Allemagne.

Note sur le traitement des minérais d'étain en Cornouailles; par MM. Coste et Perdonnet.

Ce sujet ayant été déjà traité dans les *Annales* par MM. Dufrénoy et de Beaumont, nous n'avons pour but dans cette note que de faire connaître quelques perfectionnemens introduits depuis que ces messieurs ont visité l'Angleterre. Nous éviterons toute répétition qui ne serait pas absolument nécessaire pour l'intelligence de cet article.

Nous avons visité les usines d'étain de Saint-Austle, Carvedras, près Truro et Penzance.

Usine de Saint-Austle.

A Saint-Austle, on réduit le minérai d'étain, soit dans le demi-haut-fourneau chauffé au charbon de bois, soit dans le fourneau à réverbère alimenté par la houille.

Traitement au charbon de bois.

Le traitement au charbon de bois n'a lieu que pendant certains mois de l'année, et pour le minérai d'alluvion (*stream-tin*). Ne l'ayant pas suivi, nous nous bornerons à donner une idée de la forme du fourneau, et quelques unes de ses dimensions, que nous avons prises nous-même.

La forme du vide intérieur est celle que présentent deux troncs de cône, ayant la grande base commune; la hauteur est 15 pieds ($4^m,56$), et le diamètre au gueulard 1 pied 3 pouces ($0^m,38$).

L'avant-creuset a 1 pied ($0^m,30$) de largeur, à partir de la tympe.

Un canal percé au dessus dans la maçonnerie sert à emmener les vapeurs dans des chambres de condensation.

Deux tuyères donnent le vent, et sont placées sur une des parois latérales, l'une à côté de l'autre; elles reçoivent chacune une buse d'un pouce (0,03) de diamètre.

Traitement à la houille.

Dans le traitement à la houille, on distingue deux opérations, celle de la réduction du minérai et celle du raffinage de l'étain impur qui en provient. L'une et l'autre ont lieu à Saint-Austle dans le même fourneau.

Fourneau à réverbère servant à la réduction des minérais et au raffinage de l'étain impur.

La *fig.* 1, Pl. I, est une coupe; la *fig.* 2 un plan de l'appareil

A, est une porte pour le chargement du combustible.

B, porte pour le chargement du produit que l'on veut réduire.

C, porte pour le travail.

D, trou pour la coulée, fermé pendant l'opération avec un tampon d'argile.

E, trou que l'on ouvre seulement au moment où l'on charge le minérai d'étain sur la sole, afin d'empêcher le courant d'air d'emporter la poussière dans la cheminée.

e, petit canal qui donne passage à de l'air froid, qui rafraîchit le pont et la sole, et les empêche de se détruire aussi promptement.

T et T′, bassins de réception.

Les dimensions du rampant sont 2 pieds (0^{m},61) sur 15 pouces (0^{m},38). La section de la cheminée a 20 pouces (0^{m},50) de côté; la hauteur est pour l'un des fourneaux de l'usine 34 p^{ds}. (10,^{m}37), pour

un second 50 pieds ($15^m,23$); ils vont tous les deux également bien.

On mélange toujours le minérai avec de la houille sèche (*stone-coal*) en poudre, que l'on nomme *culm*, et qui agit comme réductif. On y ajoute quelquefois de la chaux et du spath-fluor, qui servent de fondans. Addition de houille sèche au minérai.

La charge est ordinairement de 15 quintaux (761^k.); elle s'élève quelquefois à 20 et même à 24 quintaux (de 1015^k. à 1218^k.) Les renseignemens que nous avons recueillis sur sa richesse ne s'accordent pas. Un des directeurs la portait à 70 pour 100, un autre seulement à 65, ou même quelquefois à 60; il paraît du reste qu'elle n'est pas constante. Charge et richesse du mélange.

La quantité de *culm* dépend de la nature des minérais; elle est ordinairement d'un cinquième du poids. Quantité de culm ajoutée.

On commence par donner un fort coup de feu; au bout d'une heure, la matière est déjà en fusion. On retire par la porte C les scories qui surnagent, jusqu'à quatre fois pendant l'opération. Conduite de l'opération.

L'ouvrier passe aussi de temps en temps son râble par cette ouverture, afin de remuer et mélanger les substances. Peu de minutes avant la fin du fondage, on jette quelques pelletées de culm sur le bain, afin de rendre les scories moins fluides.

On coule d'abord l'étain, et dès que l'on voit arriver des scories, on ferme le trou de coulée. On recueille cependant, à la surface du métal contenu dans les bassins de réception, des scories vitreuses, noires et compactes, qui, retenant beaucoup d'étain en grenaille ou en larmes, sont refondues à part et sans addition. Elles sont en si Coulée de l'étain et variétés de scories que l'on obtient.

petite quantité, qu'il faut environ soixante opérations pour en fournir de quoi charger le fourneau.

D'autres scories d'apparence tufeuse, restées sur la sole, sont, ainsi que celles retirées pendant l'opération, triées et traitées de nouveau comme l'expliquent MM. Dufrénoy et de Beaumont.

Immédiatement après que l'étain a été coulé, on charge de nouveau du minérai. Le fourneau est alors rouge, blanc, et le charbon couvre la grille jusqu'à la partie supérieure du pont. On ferme et lute les portes, puis on jette du combustible dans le foyer autant qu'il en peut contenir.

Durée de l'opération.

La durée de l'opération est de six à sept heures.

Perte en métal.

Nous n'avons aucune donnée qui nous paraisse exacte sur la perte en métal.

Raffinage.

L'opération du raffinage se subdivise en deux autres, la liquation et le raffinage proprement dits.

Liquation.

La liquation, qui a lieu sur la sole du fourneau à réverbère s'opère sur 6 tonnes $\frac{1}{2}$ à la fois dans un espace de temps d'environ vingt minutes. Elle n'entraîne qu'une très légère consommation en combustible; car deux pelletées de houille suffisent si le fourneau était chaud auparavant.

Raffinage proprement dit.

Le raffinage proprement dit se fait dans une chaudière, exige de cinq à six heures pour les 6 tonnes $\frac{1}{2}$, et brûle un demi-boisseau ou 42 livres ($18^k,90$) de charbon.

Consommation en combustible.

La consommation en combustible est, dans toutes les opérations réunies, de sept *vvey* de houille pour cent blocks d'étain raffiné. Le *vvey* est de 64 boisseaux, le boisseau de 84 livres, et le blok d'étain pèse 3 livres. Cela fait donc 37,632 livres de charbon pour 33,600 livres d'étain ou

2609 livres pour une tonne de 2240 livres, ou enfin environ 1120 kilog. par tonne de 1,000 kilogr. La quantité de houille sèche ou culm est de 302 kilog. La quantité totale de houille consommée est donc en tout 1120 kilog. + 302 kilog. = 1422 kilog. pour 1000 kilog. d'étain.

Usine de Carvedras.

Forme et dimensions des fourneaux.

Les fourneaux de Carvedras sont beaucoup plus grands que ceux de Saint-Austle, et paraissent consommer moins de combustible tout en produisant davantage dans le même temps.

La *fig.* 3, Pl. I, en est une coupe, et la *fig.* 4 un plan.

On remarque en *a*, *fig.* 3, une petite cheminée latérale à la grille, et communiquant avec le foyer par un canal; elle n'a pas plus d'une vingtaine de pieds de haut, et sert au même usage que le trou supérieur au foyer dans les fours de Saint-Austle. On modère le tirage au moyen d'un registre *r*.

La section de la grande cheminée a, pour tous les fourneaux de l'usine, 20 pouces (0^m,50) de côté; la hauteur est de 52 pieds (15^m,84) pour deux d'entre eux, et de 45 (13^m,71) pour deux autres.

Charge, durée de l'opération et consommation en combustible.

On charge 30 quintaux (1522^k) à la fois; le fondage ne dure cependant que six heures, et les ouvriers prétendent que l'on ne brûle pas au delà de 18 boisseaux (685^k.) de charbon par opération.

Richesse du minérai.

Le minérai est moins riche qu'à Saint-Austle; il ne rend ordinairement pas au delà de 60 à 65 pour 100, quelquefois même seulement 50 pour 100.

Quantité de culm ajoutée.

La quantité de culm ajoutée pour les 30 quintaux n'est que de 3 à 3 quintaux $\frac{1}{2}$; ce qui ne fait qu'un dixième à un huitième de la charge.

Conduite de l'opération.

On donne, à Carvedras, un fort coup de feu au commencement de l'opération comme à Saint-Austle, et l'on entretient une chaleur très vive pendant toute la durée du fondage.

Autre usine à étain dans le voisinage de Truro.

Il existe une autre usine à étain près de Truro, dont l'entrée nous a été interdite. Un des propriétaires, que nous avons rencontré plus tard à Penzance, nous a dit qu'elle était semblable à celle de Carvedras.

Usines des environs de Penzance.

Il existe aux environs de Penzance deux usines à étain : l'une à M. Bothilo, située à Chyandover, à un quart de lieue de Penzance, l'autre à environ deux lieues de cette ville.

Fourneaux de l'usine de Chyandover.

Les fourneaux de l'usine de Chyandover sont construits d'après l'ancienne méthode, et n'ont pas même de trou de tirage au dessus de la grille. Leurs dimensions paraissent être les mêmes que celles des fourneaux de Saint-Austle.

Charge, richesse des minérais et quantité de culm ajoutée.

La charge est de 15 quintaux, la richesse des minérais de 62 à 65 pour 100; on y mélange un cinquième de culm.

Consommation en combustible.

La consommation en combustible est de sept weys pour cent blocks ou 1120 kilogr. pour une tonne de 1,000 kilogr. Cette donnée concorde parfaitement avec celle qui nous a été communiquée à Saint-Austle.

Fourneau d'une autre

Dans l'autre usine, les fours sont construits comme à Carvedras. On y fond de 25 à 30 quin-

taux de schlich de même richesse qu'à Chyandover.

usine à étain des environs de Penzance.

Economie de combustible produite par les fourneaux de construction nouvelle.

On nous a assuré que les nouveaux fourneaux produisaient une économie en combustible de deux septièmes, en sorte que l'on ne brûlerait que cinq weys, au lieu de sept, ce qui fait 800 kilogr. pour une tonne de 1,000 kilogr.

Conduite de l'opération.

Nous n'avons pas suivi d'opération à Penzance; mais l'on nous a dit que, comme à Saint-Austle et à Truro, l'on donnait un fort coup de feu en commençant l'opération.

CONCLUSION.

On voit, d'après ce qui précède sur les diverses fonderies d'étain du Cornouailles :

1°. Que les fourneaux actuels diffèrent beaucoup de ceux qu'ont décrits MM. Dufrénoy et de Beaumont; nous garantissons la parfaite exactitude de nos plans, que nous avons levés nous-même.

2°. Que, contradictoirement à ce qui a été dit dans presque tous les ouvrages de chimie et de métallurgie, il n'est pas exact qu'au commencement de l'opération du fondage des minérais on élève la chaleur graduellement; on donne au contraire un fort coup de feu. Nous avons vérifié ce fait en diverses occasions, et il nous a été confirmé par le témoignage d'un grand nombre d'ouvriers.

3°. Que la consommation en combustible est aujourd'hui moindre, même dans les fourneaux de St.-Austle, que celle indiquée par MM. Dufrénoy et de Beaumont; ce qui constaterait encore mieux la supériorité établie par ces ingénieurs du pro-

cédé anglais sur le procédé allemand. Les résultats, qui s'accordent assez bien pour les différentes usines, nous ont été confirmés par plusieurs personnes. Cependant, il est bon de remarquer que la houille payant en Cornouailles un très fort droit, dont les usines d'étain ne sont pas exemptes, les chefs d'établissemens ont peut-être quelque intérêt à tromper les observateurs.

MÉMOIRE

Sur la fabrication de la fonte et du fer en Angleterre;

PAR MM. COSTE ET PERDONNET.

2e. PARTIE. *Fabrication du fer.*

Diverses qualités de fer du Staffordshire.

LE fer est principalement fabriqué dans le Staffordshire et dans le sud du pays de Galles, on en distingue généralement dans le Staffordshire cinq qualités, auxquelles on donne dans le commerce les noms suivans :

1°. *Common iron* (fer commun) ;
2°. *Common best* (fer commun meilleur) ;
3°. *Best iron* (le meilleur fer) ;
4°. *Best best* (meilleur meilleur) ;
5°. *Horsenail* (fer ordinairement fabriqué en totalité ou en partie au charbon de bois).

Nous expliquerons plus loin comment on se procure ces diverses qualités.

Du pays de Galles.

Dans le pays de Galles, on distingue trois variétés de fer, que l'on désigne par les numéros 1, 2 et 3.

N°. 1. Fer qui a été puddlé, puis a reçu une chauffe, et qui, ainsi, a été laminé deux fois.

N°. 2. Fer qui a reçu deux chauffes et a été laminé trois fois.

N°. 3. Fer qui a reçu trois chauffes et a été laminé quatre fois.

La qualité d'une même variété de fer est souvent très différente dans les diverses usines du même pays ; elle dépend de la qualité des matières premières, du travail des ouvriers et du

plus ou moins de perfection des instrumens employés.

Combustible employé dans l'affinage.

La houille est, à très peu près, le seul combustible employé dans l'affinage de la fonte en Angleterre; cependant nous avons vu pratiquer dans le pays de Galles un procédé d'affinage, dans lequel on se sert simultanément de houille ou de coke et de charbon de bois : nous avons déjà donné une idée de ce procédé mixte. (*Annales des Mines*, 1re. livraison 1829.)

On sait que le travail de l'affinage se divise en trois parties :

1°. Le *finage*, ou fabrication du *fine-metal*;

2°. Le *puddlage*, qui succède à l'affinage proprement dit;

3°. Le *corroyage* du fer, obtenu dans le puddlage.

Les barres sont coupées, réunies en trousses, et chauffées dans des fourneaux à réverbère, qui portent le nom de *balling*, *reheating* ou *mill furnaces*. Les paquets sont étirés en barres au moyen de cylindres.

La troisième opération n'est pas toujours pratiquée : on vend quelquefois du fer tel qu'il provient du puddlage. Ce fer est travaillé dans des usines qui n'emploient que les fourneaux à réchauffer (*heating furnaces*).

Toutes ces opérations exigent des marteaux et des cylindres de diverses dimensions. Nous donnerons une description succincte des appareils qui leur sont nécessaires, et nous y ajouterons quelques détails sur chacune d'elles.

Fabrication du fine-metal.

Fourneau de finerie. (*Finery* ou *refinery fur.*)

Ce fourneau consiste en un massif de maçonnerie, qui, le plus souvent, s'élève d'environ un pied au dessus du sol. Au milieu de ce massif, on ménage un creuset rectangulaire, qui a environ 1 pied 2 ou 3 pouces ($0^m,355$ à $0^m,380$) de profondeur, 3 pieds ($0^m,914$) de longueur, et 2 pieds ($0^m,61$) de largeur. Aujourd'hui, on donne des dimensions un peu plus grandes aux creusets et on les fait plus carrés : la profondeur est à peu près la même; mais la longueur est d'environ 3 $\frac{1}{2}$ pieds ($1^m,06$) et la largeur 3 pieds 2 ou 4 pouces ($0^m,96$ à $1^m,01$). Ces nouvelles fineries ont quatre tuyères au lieu de deux ou trois qu'avaient les anciennes. Les *fig.* 1, 2, 3, Pl. II, représentent une finerie employée près de Dudley; le foyer a 14 pouces ($0^m,0354$) de profondeur, 3 pieds 8 pouces ($1^m,11$) de longueur et 3 pieds 4 pouces ($1^m,01$) de largeur. Il existe aussi en Angleterre quelques fineries à six tuyères. On en voit en France au Creusot. On n'a pas changé le diamètre des buses; en augmentant le nombre des tuyères, on a seulement agrandi le creuset. On a trouvé plusieurs avantages dans cette innovation; l'opération est plus prompte, un ouvrier fait plus d'ouvrage que dans les fineries qui ont moins de tuyères, et la consommation de coke est diminuée.

Le creuset est revêtu de toutes parts de plaques de fonte, ainsi que la surface supérieure du massif de maçonnerie qui l'entoure; il est percé sur le devant d'un trou destiné à la coulée des scories et du métal. En avant de ce trou, ainsi qu'on peut le voir sur les figures, on pra-

tique une fosse de 9 à 10 pieds (2^m,74 à 3,05) de longueur, 18 pouces (0^m,457) de largeur et de quelques pouces de profondeur. Les deux faces latérales de cette fosse sont inclinées de manière que sa coupe transversale a la forme d'un trapèze. Le plus souvent elle n'est pas fermée du côté opposé au creuset; on y place seulement un peu de sable à chaque coulée pour retenir le métal. Lorsque celui-ci est froid, on retire le sable et on a plus de facilité pour enlever la plaque coulée, que si la fosse était fermée de toutes parts.

Cheminée. Le creuset est surmonté d'une cheminée en briques de 15 ou 20 pieds de hauteur, portée par quatre piliers en fonte. La hauteur des piliers est de 5, 6 et quelquefois 8 pieds. De tous les côtés, excepté celui de la coulée, l'intervalle qu'ils laissent entre eux est fermé par des murs de briques ou des portes en tôle. Enfin, comme le montre la figure, le fourneau est le plus souvent placé sous une halle.

Lorsqu'il n'y a que deux ou trois tuyères, elles sont toujours situées du même côté du foyer; mais lorsqu'il y en a quatre, on les place sur deux côtés opposés. L'inclinaison des tuyères est en général de 30°, et quelquefois de 45.

Les tuyères sont en fonte et à double enveloppe, de manière qu'on peut continuellement les refroidir au moyen d'un courant d'eau froide et éviter ainsi qu'elles ne soient fondues.

Fineries du Staffordshire et du pays de Galles. La figure représente une finerie du Staffordshire; nous ajouterons ici les dimensions exactes d'une finerie à trois tuyères de Dowlais, pays de Galles.

Profondeur du creuset.	1 pied 3 p°.	(0^m,38)
Longueur.	4	(1^m,22)
Largeur	3	(0^m,91)

Ces dimensions sont prises entre les parois de briques.

Les tuyères sont inclinées de 45°; elles avancent de 7 pouces ($0^m,177$) dans le creuset, et sont à 1 pied ($0^m,305$) du fond.

Entre la première tuyère et la face de laiterol il y a 1 pied 2 pouces ($0^m,355$) et de la troisième tuyère à la rustine il y a 1 pied ($0^m,305$). L'espace occupé par les trois tuyères est donc de 1 pied 10 pouces ($0^m,558$).

Chaque tuyère ne renferme qu'une buse. Chaque buse a 1 $\frac{1}{4}$ pouce de diamètre.

Quantité de vent nécessaire à une finerie.

La quantité de vent nécessaire à une finerie est très considérable. MM. de Beaumont et Dufrénoy estiment que pour la produire il faut le huitième de la force nécessaire à un haut-fourneau, environ trois ou quatre chevaux. Nous pensons qu'il faut souvent une force plus grande: ainsi nous admettons onze ou douze chevaux pour souffler une finerie à quatre tuyères. On nous a dit à Dowlais que les cinq fineries dont nous donnons plus haut les dimensions seraient soufflées par une machine de la force de soixante chevaux; ce nombre nous paraît exagéré, mais sept ou huit chevaux sont une force convenable pour une finerie de ce genre ; elle exigerait ainsi environ 7 à 800 pieds cubes d'air par minute.

On peut se former une idée de la quantité de vent lancée dans une finerie par minute et du rapport de cette quantité à celle qu'exige un haut-fourneau, en comparant la somme des surfaces des buses d'une finerie à celle des buses d'un haut-fourneau, et en se rappelant qu'ordinairement c'est la même machine qui souffle les fine-

ries et les hauts-fourneaux. Or le diamètre des buses d'une finerie à trois buses de Dowlais est de 1 $\frac{1}{4}$ pouce ; soit le diamètre des buses d'un haut-fourneau 2 $\frac{3}{4}$ pouces : en admettant ces nombres, on trouve que les surfaces de sortie du vent dans la finerie et le haut-fourneau sont comme 1 : 3,2. Ce rapport est aussi celui des quantités de vent (en supposant qu'il n'y ait pas de contraction de veine) et de la force nécessaire à la finerie et au haut-fourneau : en admettant huit chevaux pour une finerie, la force nécessaire à un haut-fourneau serait d'un peu moins de vingt-six chevaux.

Influence de la quantité de vent sur la quantité et la nature du fine-metal.

La grande quantité de vent lancée dans les fineries peut influer de deux manières dans l'affinage de la fonte, soit en hâtant l'opération et augmentant la production de fine-metal dans le même temps, soit en l'affinant davantage. On donne plus de vent aux fineries dans le pays de Galles que dans le Staffordshire ; on cherche ainsi à obtenir les deux effets, à diminuer la durée de l'opération et à obtenir un métal plus affiné. Cela est nécessaire dans ce pays, parce que, dans beaucoup d'usines, on mélange des scories de chaufferie au minérai, et qu'il en résulte une fonte moins pure que si on fondait le minérai seul : aussi remarque-t-on que la partie trouée et poreuse du fine-metal est beaucoup plus épaisse dans le pays de Galles que dans les autres comtés, et nous pensons que c'est l'indice d'un affinage plus avancé. Nous avons remarqué à l'usine de Plymouth-Works, et MM. de Beaumont et Dufrénoy l'avaient remarqué avant nous, que le fine-metal est troué dans toute son épaisseur :

l'opération n'est pas plus longue que dans les autres usines ; mais on donne une quantité de vent considérable aux fineries. C'est une des premières usines où l'on ait imaginé de fondre des scories dans les hauts-fourneaux et une de celles où la proportion de cette matière, mélangée au minérai, est la plus forte. La grande quantité de vent donnée aux fineries doit donc avoir l'avantage de produire un meilleur fer : c'est ce que l'on a remarqué aussi en Staffordshire, où l'on nous a dit qu'on augmentait le vent lorsqu'on voulait obtenir un métal de qualité supérieure, mais que la consommation de coke était un peu plus considérable.

Voici actuellement la description de l'opération : Opération du raffinage.

On fait varier la profondeur du foyer suivant la nature de la fonte que l'on affine : pour cela on augmente ou diminue l'épaisseur d'une couche de sable qui recouvre les briques de la sole. On affine des fontes très grises dans des creusets de 9 pouces de profondeur ; pour les fontes blanches, on adopte quelquefois la hauteur de 13 à 14 pouces.

On commence par emplir le creuset de coke : celui qui provient de la fabrication en tas parait être préféré. Sur le coke on place la fonte à affiner, en petites gueuses, telles qu'on les coule des hauts-fourneaux ; on recouvre de combustible et on met le feu. Le coke s'embrase peu à peu, et, au bout de quelques instans, on donne le vent ; puis on l'augmente progressivement. La fonte coule au fond du creuset, et s'y réunit. L'opération ne demande aucun soin ; il faut seulement ajouter de temps en temps du coke à mesure que

l'on remarque des affaissemens. La quantité de vent est la chose la plus importante à considérer; nous sommes déjà entrés dans des détails à cet égard.

Pendant la fusion de la fonte, l'ouvrier a soin de préparer la fosse destinée à recevoir le fine-metal. Cela consiste à l'arroser de temps en temps avec une eau contenant de la chaux ou de l'argile en suspension; l'eau est réduite en vapeur, et laisse un dépôt qui empèche le fine-metal d'adhérer aux parois de la fosse.

Lorsque la fonte est complétement fondue, on ouvre le trou de percée, et le métal, ainsi que les scories, coulent dans la fosse, disposée en avant du foyer et préparée comme nous l'avons dit plus haut. On obtient ainsi une plaque de 9 ou 10 pieds ($2^m,74$ ou $3^m,05$) de longueur, 2 pieds à 2 pieds $\frac{1}{2}$ ($0^m,61$ à $0^m,76$) de largeur, et 2 à 3 pouces ($0^m,050$ à $0^m,075$) d'épaisseur. Cette plaque est toujours recouverte d'une couche assez épaisse de scories.

Le fine-metal se solidifie rapidement; on l'arrose, aussitôt qu'il est figé, avec une assez grande quantité d'eau, afin de le rendre cassant, et on le retire immédiatement de la fosse de coulée. Souvent cette fosse n'est pas fermée à l'extrémité opposée au foyer, on la termine alors par une petite digue en sable. Pour retirer la plaque, on enlève cette digue et on la remplace par un petit rouleau de fonte. On saisit alors la plaque près du creuset, avec un crochet attaché à une chaîne, qui s'enroule sur un treuil placé à quelques mètres de distance. Un seul ouvrier l'amène ainsi hors de la coulée.

L'aspect du fine-metal est très différent dans chaque pays. En Staffordshire, le fine-metal présente souvent un aspect un peu grenu et est recouvert d'une couche poreuse d'environ un demi-pouce d'épaisseur. Dans le pays de Galles, il a aussi cet aspect grenu ; mais la couche poreuse est beaucoup plus épaisse : quelquefois, ainsi que nous l'avons déjà remarqué, il est troué dans toute son épaisseur. En Yorkshire, près de Bradford, où l'on fabrique du fer très estimé, le fine-metal est toujours très blanc ou un peu bleuâtre, offre une cassure rayonnée indiquant une sorte de cristallisation ; la couche poreuse est très mince. *Aspect du fine-metal.*

Le métal ainsi obtenu contient encore du charbon ; il n'est réellement qu'à demi affiné : c'est en outre par cette opération que la fonte est débarrassée, pour la plus grande partie, du soufre et du phosphore qu'elle peut contenir.

Les scories sont généralement noires, brillantes dans la cassure, et bulleuses à la partie supérieure; elles sont fort riches en fer. *Aspect des scories.*

Chaque finerie exige ordinairement deux ouvriers, un chef et son aide. L'aide a fort peu à faire; il est souvent employé à autre chose.

On affine 1 $\frac{1}{4}$ tonne à 1 $\frac{1}{2}$ tonne à la fois. L'opération dure environ deux heures et demie dans les fineries à trois tuyères. Nous avons vu en Staffordshire une finerie à quatre tuyères, qui affinait 27 quintaux (1370^{k},25) par opération ; la fusion ne durait qu'une heure et demie. Comme on perd toujours du temps entre chaque opération, on n'affinait réellement que neuf *Quantité affinée en douze heures.*

tonnes en douze heures : on faisait donc six à sept opérations.

Dans beaucoup d'usines, le nombre des fineries est le même que celui des hauts-fourneaux ; cependant les fineries font généralement plus de travail dans le même temps que les hauts-fourneaux.

Dans les environs de Dudley, une tonne ($1014^k,91$) de fonte donne 18 quintaux ($913^k,50$) de fine-metal ; le déchet est donc d'environ 10 pour 100. On consomme 3 sacs ou 12 quintaux (609^k.) de coke, ou environ une tonne de houille.

Déchet et consommation en combustible.

Le déchet dans le pays de Galles paraît être un peu plus considérable. On nous a dit, à Pen-y-Darran, que l'on ne consommait, pour fabriquer une tonne de fine-metal, qu'une demi-tonne ou 10 quintaux de houille, donnant, dans cette usine, 7 à 8 quintaux de coke.

A Verteg, d'après des comptes de l'année 1824, le déchet n'était que d'environ 11 pour 100 et la consommation en charbon de 14 quintaux de houille correspondant à environ 7 quintaux de coke.

Prix de fabrication d'une tonne de fine-metal aux environs de Dudley.

Voici comment on pouvait établir le prix de fabrication d'une tonne de fine-metal, l'été dernier, dans une usine des environs de Dudley :

	L.	sh.	d.
22 quint. 1/4 de fonte, à 4 liv.	4	9	»
3 sacs de coke	»	4	6
Ouvriers	»	1	6
Vent et administration	»	1	2
Pesage de la fonte et du métal	»	»	4
Réparations des outils	»	»	4
Balayage de l'atelier	»	»	3
Prix total d'une tonne (*long-weight*) L.	4	17	1

C'est le prix d'une tonne ou 20 quintaux grand poids de fine-metal, ou de 2400 livres. Les quintaux grand poids sont de 120 livres. Le quintal métrique de fine-metal revient donc à 12f,08; il faudrait ajouter à ce nombre l'intérêt des capitaux engagés.

Lorsque l'on augmente la quantité de vent que l'on donne à la finerie pour faire du meilleur fer, la consommation de coke est de trois sacs $\frac{1}{2}$ pour une tonne de fine-metal. Le sac de coke pèse 4 quintaux (203k.).

Voici quels étaient les élémens du prix de fabrication d'une tonne de fine-metal à Verteg, dans le pays de Galles, en 1824: Prix de fabrication d'une tonne de fine-metal dans le pays de Galles.

ton.	qx.		liv.	sh.	d.
1	2 1/4	fonte, à 3 liv. 6 sh. la tonne	3	13	5
»	14	houille, à 4 sh. la tonne	»	2	10
		Frais de carbonisation	»	»	4
		Raffinage	»	1	7
		Pesage	»	»	3
		Divers autres frais de main-d'œuvre pour amener le coke et emmener les laitiers, balayer, etc.	»	»	6 1/4
		Vent et administration	»	»	9
		Prix total d'une tonne (*short weight*)	3	19	8 1/4

non compris l'intérêt des capitaux.

D'après cela, le prix de revient du quintal métrique sera 9f,89.

Puddlage.

Fourneau de puddlage (*puddling-furnace*).

Le fourneau de puddlage est un fourneau à réverbère, dont l'intérieur est bâti en briques réfractaires, excepté la sole, qui est quelquefois en fonte. L'extérieur est en briques communes ou en pierres, et quelquefois complétement revêtu de fonte (*fig.* 4, 5, 6, 7, Pl. II).

Une armure en fer garantit toujours ce fourneau des effets de la dilatation. Si l'extérieur est en pierres, l'armure consiste le plus souvent en quelques barres de fer verticales, appuyées contre les parois et réunies à leur partie supérieure par des barres horizontales passant au dessus de la voûte.

Construction d'un fourneau de puddlage.

Nous avons vu dans le pays de Galles, principalement à Dowlais et à Cyfartha, des fourneaux de puddlage complétement revêtus de plaques de fonte. Ces fourneaux sont assez légers. Voici comment on les construit : on commence par faire un creux dans le sol, dont les dimensions horizontales sont à peu près celles du fourneau, et qui est profond de 18 pouces ou 2 pieds. On revêt les parois de ce trou d'une maçonnerie d'environ 15 pouces d'épaisseur, qui s'élève au niveau du sol. Contre cette maçonnerie, l'on place une pièce de fonte *ab*, portant un appui saillant *a*, et deux trous dans lesquels on peut passer des boulons (*fig.* 5). On pose sur l'appui *a*, qui n'a que 9 pouces (0^m,228) de longueur, une seule brique *m*, laquelle soutient une plaque de fonte *cd*, *fig.* 4 et 5, de 9 pouces de largeur, et c'est sur cette plaque qu'on bâtit le mur de devant du fourneau ; du côté opposé à la cheminée, ce mur est maintenu par une forte plaque de

fonte à jour EF; celle-ci, munie de deux petites saillies latérales, percées de trous, est fixée par des boulons à la plaque G, qui couvre la paroi latérale du fourneau; au delà du montant *ab* s'attache aussi à la plaque G un appui semblable à *a*, mais à une brique plus bas que *a*. Ce nouvel appui est indiqué par des points : on élève dessus un mur de trois briques de hauteur, sur lequel on pose des barres de fonte *h* (*fig*. 4), destinées à supporter la grille et la plaque de fonte servant de sole au fourneau; la plaque la plus large *h'* porte le pont. On voit que le niveau de la grille est d'environ une brique au dessus de la plaque *cd*.

Les deux parois latérales sont revêtues chacune de trois plaques G, qui vont jusqu'à la cheminée; ces plaques ont des saillies et sont liées ensemble par des boulons. Elles ont $\frac{3}{4}$ de pouce ($0^m,0189$) d'épaisseur; la plaque EF a 1 pouce ($0^m,0253$) d'épaisseur.

La cheminée est supportée par quatre pieds de fonte; on pose d'abord sur ces pieds quatre plaques de fonte, puis on bâtit la cheminée en briques. La construction en briques est interrompue, tous les 4 ou 5 pieds, par des plaques de fonte *m* (*fig*. 8) posées horizontalement : ces plaques portent des trous *o*, dans lesquels on fait passer des tiges de fer qui unissent ensemble toutes les plaques d'une même face. Les plaques des quatre faces de la cheminée ne forment pas une suite de cadres de fonte; mais elles sont posées de telle manière qu'il y a toujours une brique de hauteur de différence entre les plaques des faces X et celles des faces Y de la cheminée (*fig*. 6).

Dimensions. Les dimensions des diverses parties des fourneaux de puddlage sont très variables. Dans ces dernières années, on a employé, dans quelques usines, des fourneaux de dimensions beaucoup plus grandes que ceux qui étaient en usage auparavant. Ces fourneaux ont une porte de plus que les anciens : dans les uns, les deux portes sont en face l'une de l'autre, et on travaille par les deux à la fois. Dans les autres, les deux portes sont du même côté : l'une a les dimensions ordinaires, et sert au travail; l'autre, plus petite, est presque à l'extrémité de la sole, et ne sert qu'à charger le fine-metal, de manière qu'il soit porté au rouge pendant l'opération qui précède celle où il doit être puddlé. Les *fig.* 4, 5, 6 représentent un fourneau de cette espèce. La porte de la grille *a* a, intérieurement, $0^m,303$ de hauteur et autant de largeur. La porte *b* de travail a $0^m,380$ de hauteur et $0^m,203$ de largeur. La nouvelle porte *c* a $0^m,28$ de hauteur et $0^m,25$ de largeur. Enfin, le trou *d* a $0^m,235$ de largeur, $0^m,080$ de hauteur intérieurement, et $0^m,15$ de hauteur extérieurement.

Ce dernier système paraît présenter une économie de combustible : nous reviendrons sur ce sujet.

Les dimensions de la chauffe d'un fourneau de puddlage ordinaire varient entre 2 à 3 pieds ($0^m,61$ à $0^m,91$) de longueur, 3 à 4 pieds ($0^m,91$ à $1^m,22$) de largeur, et 2 pieds $\frac{1}{2}$ ($0^m,76$) de hauteur.

La porte par laquelle on charge le charbon est ordinairement évasée du dedans en dehors ; ses dimensions intérieures sont de 10 pouces ou 1 pied carré. On ménage une autre petite porte

d'environ 3 pouces de hauteur et 5 ou 6 pouces de largeur au dessus du pont : c'est dans ce trou qu'on place les ringards à chauffer, nécessaires dans le cinglage des loupes.

Les barreaux de la grille sont ordinairement mobiles et seulement posés sur trois pieds de fonte ; cette disposition donne de la facilité pour faire tomber les escarbilles.

Fourneaux de puddlage à deux portes de travail.

Les fourneaux de puddlage à deux portes de travail ont, en Angleterre, leurs partisans et leurs adversaires. On prétend qu'ils procurent une économie de combustible, mais qu'elle est légère, et qu'ils incommodent beaucoup plus les ouvriers par la chaleur que les fours à une seule porte. Ils coûtent le double en main-d'œuvre, et rendent davantage dans le même temps. Un de leurs plus grands avantages est d'occuper moins de place pour une même production. A Hennebon, près Lorient (Bretagne), on a trouvé que les fourneaux à deux portes donnaient une économie d'un tiers sur le combustible ; et lorsque, l'année dernière, l'un de nous a visité cette usine, on démolissait les fourneaux à une porte pour leur en substituer d'autres.

Fourneaux à deux portes, dont une seule de travail.

Les fourneaux à deux portes, dont une seule de travail, comme ceux de Dowlais, paraissent mériter la préférence. Ils procurent une économie en combustible, produisent plus dans le même temps sans incommoder les ouvriers par une chaleur excessive.

La sole des fourneaux de puddlage est faite en briques réfractaires posées de champ, ou en fonte. Dans ce dernier cas, on n'emploie qu'une seule plaque dans les petits fourneaux et deux ou trois

dans les grands fourneaux à deux portes; l'épaisseur de la fonte est de 2 pouces à 2 pouces $\frac{1}{2}$ ($0^{m},50$ à $0^{m},063$).

La sole est supportée au milieu par des piliers de fonte ou de briques, ou par une voûte en briques communes lorsqu'elle est elle-même en briques.

Du côté opposé à la chauffe, la sole se termine par un plan incliné qui se rend au trou du *floss*, derrière la cheminée, par lequel s'écoulent les scories. On entretient continuellement du feu contre ce trou, afin d'empêcher qu'il ne soit fermé par les scories, qui pourraient se solidifier.

Les cheminées des fourneaux de puddlage ont de 30 à 50 pieds ($9^{m},15$ à $15^{m},25$) de hauteur; assez généralement on préfère les cheminées de 45 pieds ($13^{m},72$). Leur section horizontale varie entre 16 et 20 pouces ($0^{m},405$ et $0^{m},505$) de côtés.

Les cheminées sont ordinairement indépendantes des fourneaux; elles sont portées par quatre piliers en fonte. L'extérieur est bâti en briques communes; il est formé de deux rangs de briques jusqu'à la moitié de la hauteur, et ensuite d'un seul rang. L'intérieur est en briques réfractaires; il n'est pas lié à l'extérieur, en sorte qu'on peut le réparer seul, sans toucher à l'extérieur. Elles sont aussi très souvent entourées d'une enveloppe en briques, de telle manière qu'il existe un vide entre cette enveloppe et le mur en brique qui forme le canal de tirage.

Toutes les cheminées sont surmontées d'une plaque de fonte destinée à servir de registre; cette plaque est mobile, au moyen de tringles de fer qui descendent le long de la cheminée.

Chauffage de chaudières avec la flamme des fourneaux de puddlage.

La fumée des fourneaux de puddlage est quelquefois employée à chauffer des chaudières de machines à vapeur. Ce moyen d'utiliser la chaleur des fumées peut très bien être employé dans les usines à fer où les machines à vapeur travaillent toujours en même temps que les fourneaux de puddlage. Nous donnons ici une disposition de chaudière que nous avons vue dans une grande usine du Staffordshire; on gagne complétement la houille qui serait nécessaire aux machines à vapeur.

La chaudière reçoit la chaleur de trois ou quatre fourneaux disposés autour d'elle, ainsi que le représente la *fig.* 1, Pl. III. Elle est enveloppée jusqu'au dôme par une construction en briques, ayant la forme d'une tour et cerclée en fer. Cette tour est soutenue par une pièce de fonte AB, placée au dessus des voûtes du fourneau, et portée par des massifs de briques bâtis entre ces fourneaux. La flamme sortant du fourneau s'élève dans le tuyau *e* le long de la chaudière, entre dans le tuyau *c* pratiqué dans la chaudière même, et descend par un tuyau semblable *d*; de là, la fumée se rend par un canal souterrain à une grande cheminée de 80 à 100 pieds ($24^m,40$ à $30^m,50$) de hauteur, qui est la seule de toute l'usine.

La chaudière a 16 ou 17 pieds ($4^m,88$ ou $5^m,18$) de hauteur, 7 pieds ($2^m,13$) de diamètre. Les tuyaux C et D ont $2\frac{1}{2}$ pieds et 3 pieds ($0^m,76$ et et $0^m,91$) de diamètre : $xy=$ 8 à 9 pieds ($2^m,44$ à $2^m,74$).

On règle le tirage des fourneaux au moyen d'une plaque de fonte *f*, portant une crémaillère, dans laquelle engrène une roue enarbrée avec une grande poulie *g*. Sur cette poulie passe une

chaîne sans fin avec laquelle on peut manœuvrer la plaque *f*.

Les scories tombent dans l'espace *h* et s'écoulent par un trou pratiqué dans le massif de maçonnerie, devant lequel on entretient continuellement un feu de houille.

Dans la même usine, la fumée des fourneaux de tôlerie est employée à chauffer des chaudières. On place une chaudière horizontale sur chaque fourneau; la fumée circule dans des tuyaux pratiqués dans la chaudière, et de là se rend à la cheminée commune.

Fourneaux de chaufferie (*heating furnaces*).

Ce sont des fourneaux à réverbère, dont la chauffe a à peu près les mêmes dimensions que celles des fourneaux de puddlage. Sa largeur est souvent plus grande; elle est d'environ 4 pieds (1^m,22). La sole a 6 ou 7 pieds (1^m,83 à 2^m,13) de longueur, et va en se rétrécissant du pont vers la cheminée; elle est faite en briques et quelquefois en fonte. La voûte est un peu plate et élevée d'environ 2 pieds (0^m,61) au dessus de la sole au centre du fourneau; elle va en descendant du côté de la cheminée.

La cheminée a 30 ou 40 pieds (9^m,15 à 12^m,20) de hauteur.

Fourneau de tôlerie.

C'est encore un fourneau à réverbère : on charge et on retire la tôle par une grande porte, qui tient toute la largeur des fourneaux, et placée au dessous de la cheminée. Les dimensions de ce fourneau sont assez grandes; nous ne les connaissons pas exactement.

Machines.

Les machines consistent en marteaux, cylindres et cisailles. Le moteur est le plus souvent la vapeur; dans quelques usines du pays de Galles, on emploie des roues hydrauliques.

Ces machines doivent être disposées de ma-

nière que les ouvriers n'aient jamais à porter qu'à une petite distance les pièces qu'ils ont à travailler avec le marteau ou avec les cylindres. Tous les cylindres ne peuvent pas être sur le même axe, puisqu'ils doivent avoir des vitesses différentes : en outre, souvent une barre sortant d'un premier couple de cylindres passe immédiatement sous un second ; il peut être alors avantageux que le second couple soit vis à vis le premier.

Les cylindres sont le plus souvent disposés de part et d'autre de la machine à vapeur. Dans ce cas, on met d'un côté les marteaux et les cylindres qu'on nomme les ébaucheurs, de l'autre côté on dispose les cylindres destinés à terminer les barres. On place de même les fourneaux de puddlage du côté des marteaux et des ébaucheurs, et les fourneaux de chaufferie de l'autre côté.

On n'emploie ordinairement en Angleterre que les marteaux en fonte à soulèvement. Marteaux.

On établit généralement deux marteaux dans une usine, les usages en sont différens. L'un sert à cingler la loupe, l'autre à finir les barres. La panne du premier présente plusieurs plans en retrait les uns sur les autres, celle du second est plate.

Les marteaux à cingler ont environ 10 pieds ($3^m,5$) de longueur et pèsent de trois tonnes $\frac{1}{2}$ à 4 tonnes avec leur panne. Cette pièce entre à frottement dans un trou conique, et est fixée avec des coins de bois et de fer. Le marteau est mobile autour d'un axe horizontal, supporté par deux pieds de fonte à collets. Il est mené par des cames fixées à un anneau de fonte de 3 $\frac{1}{2}$ ou 4

pieds (1^m,06 ou 1^m,22) de diamètre. Cet anneau est mis en mouvement par une machine à vapeur : tantôt c'est la même machine qui mène les marteaux et les cylindres; tantôt ce sont deux machines séparées. Cette dernière disposition vaut peut-être mieux ; car, dans le premier cas, lorsque le marteau et les cylindres marchent ensemble, la vitesse des derniers est beaucoup moindre que lorsque l'on n'emploie pas le marteau, et il n'est pas indifférent, dans le travail du fer, que les cylindres aient toujours la même vitesse. On établit quelquefois deux marteaux à peu près en face l'un de l'autre, de manière qu'ils soient menés par la même machine à vapeur. Celle-ci donne le mouvement à un arbre placé entre les deux marteaux, portant, sur deux circonférences différentes, deux rangs de cames, disposés en sens contraire l'un de l'autre; cet arbre, pouvant tourner à volonté dans deux sens différens, soulève l'un ou l'autre marteau suivant que le travail l'exige. La machine ne peut plus alors être employé à mener des cylindres. Nous avons aussi vu un arbre de 6 pieds de diamètre, portant huit cames, qui faisait marcher en même temps deux marteaux, l'un par la tête, l'autre par la queue.

Un marteau à cingler donne de soixante-quinze à quatre-vingts coups par minute : on estime qu'une force de dix à douze chevaux est nécessaire pour le mener.

L'enclume est aussi en fonte; elle se compose de deux parties; le support et l'enclume proprement dite, qui n'est autre chose qu'une panne renversée.

Toutes ces pièces, étant fort lourdes et fati-

guant beaucoup par les coups de marteau, doivent être solidement établies. On commence par construire une fondation en maçonnerie, sur laquelle on pose trois lits de pièces de bois dans deux sens différens : l'un dans le sens de la longueur des marteaux, l'autre perpendiculairement, et le troisième parallèle au premier. Ces pièces de bois ont 10 pouces ou 1 pied d'équarrissage ; elles portent des pièces de fonte à oreilles, dans lesquelles on engage les supports des marteaux et de l'enclume.

Le marteau pour forger les barres est plus léger que l'autre; mais il faut toujours à peu près la même force pour le mener, parce qu'il doit donner un plus grand nombre de coups par minute ; souvent ce marteau est soulevé par cinq cames, tandis que le marteau à cingler n'est soulevé que par quatre.

On établit ordinairement une cisaille en avant des marteaux; elle est menée par la même machine ; elle sert à couper les extrémités des loupes qui viennent d'être forgées ; il faut aussi des cisailles près des cylindres pour couper les extrémités des barres : cet instrument consiste toujours en deux branches, l'une fixe, l'autre mobile : toutes deux portent des ciseaux tranchans et fort épais. La branche mobile est menée par une manivelle ou un excentrique. Cisailles.

Les cylindres employés dans la fabrication du fer sont de plusieurs espèces, suivant l'usage auquel on les destine; on peut cependant les réduire à deux : *les cylindres ébaucheurs* et les *cylindres étireurs ou finisseurs*. Ces derniers comprennent les cylindres à faire le fer de tout échantillon. On pourrait ajouter à ces deux espèces les *laminoirs* ou *cylindres unis* ; ils ne sont employés que Cylindres.

pour la tôle et dans un petit nombre d'autres cas.

Ébaucheurs. Les *ébaucheurs* (*roughing rolls* ou *puddlers rolls*) sont les cylindres sous lesquels on passe les loupes aussitôt après le cinglage ou même à leur sortie immédiate du fourneau à puddler, comme cela se pratique dans quelques usines du pays de Galles où l'on n'emploie pas de marteaux, méthode qui abrége un peu la durée du travail, mais donne un fer moins bon.

Les cylindres ébaucheurs, dans les usines où on les emploie conjointement avec les marteaux, ont le plus souvent deux ou trois cannelures, dont la section a la forme d'un ovale ou d'un carré dont les angles sont très arrondis. Une des diagonales de ce carré est verticale : les cannelures qui viennent ensuite sont rectangulaires et au nombre de six ou sept ; nous ne connaissons pas leur loi de décroissement, on en fait un secret. Elle n'est pas uniforme ; les premières cannelures décroissent plus vite que les dernières, ce qui doit être, puisque les loupes sortant des fourneaux sont pleines de laitier, ont une texture très lâche, et offrent par conséquent peu de résistance à la pression. Plusieurs cannelures de ces cylindres présentent des creux et des saillies ou espèces de dents, de manière que le fer soit facilement saisi et entraîné sous la cannelure.

Les ébaucheurs dans le Staffordshire ont 5 ou $5\frac{1}{2}$ pieds ($1^{m},52$ ou $1^{m},77$) de longueur de table et 18 pouces ($0^{m},45$) de diamètre. Ils font souvent vingt-cinq tours par minute ; ce qui donne une vitesse à la circonférence de 1113 pouces par minute ($35^{m},87$). Ils sont, dans ce cas, sur le même axe que les laminoirs pour la tôle, comme cela est indiqué dans l'ouvrage de MM. Dufrénoy et de Beaumont. On leur donne aussi une vitesse plus grande

en diminuant le diamètre. Ainsi, dans certaines usines du Staffordshire, on forge assez la loupe pour qu'on puisse la passer de suite sous des cannelures rectangulaires. Les cylindres ont alors 14 pouces (0^m,355) de diamètre, et font soixante à soixante-quinze tours par minute; ce qui correspond à un espace parcouru de 2640 à 3300 pouces par minute (67^m,04 à 83^m,79). La vitesse qu'on leur donne dépend aussi de la qualité du fer que l'on étire.

Il faut remarquer que dans ces cylindres, ainsi que dans tous ceux qui ont des cannelures rectangulaires à diagonales inclinées, ces ouvertures sont formées par une cannelure saillante d'un des cylindres, ordinairement le cylindre supérieur, et par une cannelure rentrante du cylindre inférieur. Si donc on taillait les cannelures dans des cylindres coulés de même diamètre, celle qui est saillante aurait un diamètre plus grand que celle qui est rentrante et lui correspond. Les cylindres, pendant le laminage, prendraient donc des vitesses différentes, et les barres frotteraient sur un long espace à la fois; il en résulterait que les cylindres seraient très souvent brisés par la grande force qu'il faudrait développer pour étirer les barres, et souvent celles-ci sortiraient mal ou avec une grande difficulté : c'est pourquoi une paire de cylindres est formée de deux cylindres coulés de diamètre différent A et B (*fig.* 2); le cylindre inférieur A est ordinairement celui qui a le plus grand diamètre. On passe les barres dans les cannelures 1, 3, 5, 7 et non dans les cannelures 2, 4, 6. On ne parvient pas par ce moyen à faire des cannelures telles que les diamètres supérieurs et inférieurs de chacune soient égaux, il faudrait pour

cela que toutes les cannelures d'une même paire de cylindres fussent d'égale profondeur, ce qui n'a pas lieu ; mais on sait que cette dimension varie peu. Si l'on voulait que chaque ouverture fût formée d'une cannelure saillante et d'une cannelure rentrante ayant exactement le même diamètre, il faudrait couler un des cylindres, celui des cannelures saillantes avec des couronnes de diamètres différens. La petite différence de profondeur des cannelures d'une même paire de cylindres rend cette précaution inutile.

La section des cannelures n'est jamais exactement un rectangle; elle est toujours un peu évasée, ainsi que le montre la *fig.* 2, Pl. III, pour le cylindre A. Cette disposition a encore pour but d'empêcher un trop grand frottement de la barre sur les côtés, ce qui pourrait briser la cannelure, et de faciliter la sortie de la barre. En outre, si la barre frottait sur les côtés, elle pourrait être entraînée autour du cylindre et produire la rupture de tout l'appareil. Cet élargissement fait l'effet des petits barreaux de fer que l'on place entre les couteaux d'une fenderie pour diriger les barres coupées et les empêcher d'envelopper les cylindres. Nous ne savons pas quel est l'élargissement des cannelures à la partie supérieure, il est toujours très petit et à peine sensible à l'œil, plus grand pour le fer de petit échantillon que pour les grosses barres.

Règle pour tracer les cannelures des cylindres ébaucheurs dans le pays de Galles.

Dans plusieurs usines du pays de Galles, on n'emploie pas de marteaux, on passe immédiatement les loupes sous des ébaucheurs. Dans ce cas, les cylindres présentent sept ou neuf cannelures ovales ; on a, dans quelques usines, une règle particulière pour les tracer. Elle consiste à tirer une ligne *ab* (*fig.* 3), porter de part et

d'autre de *c* les distances $ca = cb =$ le demi-diamètre de la cannelure ; décrire des points *a* et *b*, comme centre, deux arcs de cercle : élever la perpendiculaire $cd = ca = cb$; décrire du point *d*, comme centre, avec le rayon *a b* un nouvel axe de cercle ; et enfin des points *e*, comme centre, décrire les arcs *ad* et *bd* : *abd* sera le profil d'une cannelure. On coule ces cylindres avec des cannelures et on les achève sur le tour. On arrondit un peu l'angle *d*, et on évase *a* et *b* de manière que le profil de la cannelure achevée est représenté par la *fig.* 4.

La première cannelure des ébaucheurs présente ordinairement, au lieu d'aspérités irrégulières, quatre ou cinq creux, dont la coupe, perpendiculaire à l'axe du cylindre, est un triangle rectangle ayant un angle très aigu.

D'après le tracé que nous avons donné, on voit que ces cannelures ne sont autre chose que des carrés dont on arrondit les angles et les côtés. Voici les diamètres de celles de deux paires d'ébaucheurs, prises dans des usines différentes du pays de Galles.

	p°.	lig.	p°.	lig.
Diamètre de la 1re. cannelure..	7	7 1/2	8	4
.........2e..........	6	4	7	2
.........3e..........	5	4 1/2	5	6
.........4e..........	4	»	4	5
.........5e..........	3	2 1/2	4	2
.........6e..........	2	6 1/2	3	4
.........7e..........	2	3 1/2	3	»
.........8e..........	2	1	2	4
.........9e..........	1	6 1/2	»	» (1)

Les diamètres horizontaux sont toujours un peu plus grands que les verticaux ; en arrondissant les angles supérieur et inférieur de la can-

(1) Le pouce anglais se subdivise en huit lignes.

nelure dans le moulage, on diminue toujours un peu le diamètre vertical : ainsi, pour la seconde paire, les diamètres verticaux étaient de 7 pouces 4 lignes, 6 pouces 2 lignes, 5 pouces, etc.

On remarquera que le décroissement des cannelures est assez rapide : il pourrait l'être beaucoup plus si on ne considérait que la résistance des loupes à la pression. Mais comme elles ont aussi fort peu de ténacité, si on les passait sous des cannelures décroissant plus rapidement, on les mettrait en morceaux.

Ces ébaucheurs ont 14 ou 15 pouces de diamètre, et font souvent de soixante à soixante-dix et quelquefois soixante-quinze tours par minute.

Cylindres étireurs ou finisseurs.

Les cylindres étireurs ou finisseurs (*finissing or merchant rolls*) sont ceux sous lesquels on passe le fer laminé sous les ébaucheurs après qu'il a été chauffé en trousses. Ces cylindres présentent aussi quelquefois, dans une partie de leur longueur, des cannelures ovales.

Les dimensions et les vitesses qu'on leur donne sont très variables et dépendent de l'échantillon du fer à fabriquer. Les cylindres pour étirer le fer en barres de 5 ou 6 lignes jusqu'à 16 ou 18 lignes carrées ont ordinairement 14 pouces ($0^m,355$) de diamètre et 4 pieds ($1^m,22$) de table; ils font soixante-quinze à quatre-vingts tours par minute, environ 3500 pouces ($88^m,86$) de vitesse à la minute. Les cannelures pour fabriquer le fer carré sont à diagonales verticales; le profil de la cannelure est un triangle isocèle un peu obtus : à l'extrémité de la diagonale horizontale, les angles sont un peu évasés, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment pour les dégrossisseurs; on facilite ainsi la sortie de la barre.

Les cylindres à fabriquer le petit fer carré, rond ou méplat, au dessous de 5 lignes, ont ordinairement 8 pouces ($1^m,20$) de diamètre, et 2 à 3 pieds ($0^m,61$ à $0^m,91$) de table ; ils font cent cinquante, deux cents et jusqu'à deux cent cinquante révolutions par minute, ce qui donne une vitesse de 4 à 600000 pouces par minute. Ces cylindres sont assez petits pour que l'on en fixe trois sur les mêmes châssis. On prend pour les cannelures carrées et rectangulaires les précautions que nous avons indiquées, l'évasement est seulement beaucoup plus sensible que pour les grosses barres. Souvent, en avant des cannelures, pour fabriquer le fer rond, on place une sorte de filière qui sert à diriger la barre; elle passe dans une autre filière en quittant la cannelure; on évite ainsi qu'elle n'enveloppe le cylindre.

Cylindres polisseurs (*planishing rolls*).

On emploie dans quelques usines des cylindres unis destinés à donner le fini aux barres : on les nomme *planishing rolls.* On leur donne 14 pouces ($0^m,355$) de diamètre, et 3 pieds ($0^m,91$) de table; ils font de soixante à quatre-vingts révolutions par minute, quelquefois cent. Les mêmes cylindres peuvent être employés à faire de la tôle pour le fer-blanc.

Ce sont des cylindres semblables qu'on emploie à fabriquer le fer feuillard (*hoops*, etc.); mais on ne leur donne que 8 pouces ($0^m,20$) de diamètre et 2 pieds ($0^m,61$) de table; ils font cent cinquante à deux cents révolutions par minute.

Les cylindres à fabriquer la tôle épaisse ont ordinairement 18 pouces ($0^m,45$) de diamètre, 5 pieds ($1^m,52$) de table, et font de vingt à vingt-cinq révolutions par minute ; ce qui donne une vitesse de 1,413 pouc. ($35^m,87$). Ces cylindres s'échauffent beaucoup pendant le travail, on les change souvent.

On prend toujours des précautions particulières dans le moulage des cylindres; dans beaucoup de fonderies, on en fait un secret. Nous savons seulement que généralement on coule les cylindres destinés à être cannelés, avec des masselottes, à la manière des canons. On obtient ainsi une fonte plus dense. La masselotte a le diamètre du cylindre et environ un pied de hauteur, elle est quelquefois beaucoup plus considérable.

Les cylindres destinés à rester unis, tels que les *planishing rolls* et les cylindres à fabriquer la tôle sont coulés en coquille, c'est à dire dans des moules faits en fonte fort épaisse.

Force nécessaire pour faire marcher les cylindres.

On trouvera, Pl. IV, les dessins d'un assortiment complet de cylindres fabriqués récemment dans une des meilleures usines du pays de Galles pour de nouveaux établissemens. On peut compter sur leur parfaite exactitude.

Nous ne connaissons pas la force nécessaire à chaque espèce différente de cylindres. On calcule qu'il faut une machine d'environ trente chevaux pour mener un *rolling-mill*: c'est un système de cylindres composé d'une paire d'ébaucheurs et d'une ou deux paires de finisseurs. On peut admettre aussi qu'il faut une force de cent vingt chevaux à une forge capable de donner par semaine cent quatre-vingts tonnes de fer de divers échantillons, consistant en deux *rolling mills*, une paire de *planishing rolls*, une paire de cylindres à faire la tôle, une fenderie, plusieurs paires de cylindres pour fer de petit échantillon, deux marteaux. Tous ces cylindres ne travaillent pas en même temps.

Dispositions générales.

Une paire de cylindres à fabriquer la tôle exige seule environ trente chevaux.

Les cylindres doivent nécessairement être très

fortement assujettis. Pour cela, on commence par creuser une fosse, au fond de laquelle on établit un massif de maçonnerie ou une voûte renversée, dont la surface supérieure est à environ 6 pieds au dessous du sol. On place dans ce fossé une sorte de cadre de charpente, dont les pièces inférieures et supérieures sont unies de distance en distance par des barres de fer boulonnées. On bâtit un mur dans l'intérieur de cette charpente ; sur la pièce supérieure, on fixe des pièces de fonte à oreille, sur lesquelles on dispose les châssis de fonte destinés à recevoir les cylindres. La charpente de bois est quelquefois remplacée par une charpente en fonte ; dans ce cas, la pièce supérieure porte des oreilles pour maintenir les châssis des cylindres.

On dispose au dessus des cylindres un tuyau en bois, duquel tombe de l'eau sur chacun des couples. Cette eau est destinée à les refroidir, et paraît en outre faciliter la sortie de la barre ; elle contribue probablement aussi à la séparation des battitures, de même que, dans le travail au marteau, ordinairement employé en France, on augmente toujours la quantité d'eau répandue sur le marteau, à la fin du forgeage ou pour finir la barre.

Table à dresser les barres.

En sortant du laminoir, les barres présentent toujours quelques courbures ; on les porte immédiatement sur une longue pièce en fonte, ordinairement un peu inclinée, et un enfant redresse la barre en la frappant de quelques coups d'un marteau de bois.

Puddlage.

Le fine-metal est transformé en fer métallique, par l'opération du puddlage, dans un fourneau que nous avons décrit. Cette opération ne laisse pas que de présenter des difficultés nombreuses,

et tous les ouvriers ne réussissent pas également bien. Nous n'entrerons cependant pas dans tous les détails de ce travail, nous en rappellerons seulement les principales circonstances.

On recouvre ordinairement les soles d'une substance plus fusible.

Les différentes matières dont on a essayé de se servir pour cela en Angleterre et en France sont:

Le sable;

Les battitures ou scories qui tombent des laminoirs;

Un mélange de battitures et de scories de puddlage;

La chaux.

Il paraît aussi qu'en Angleterre, lorsque le sable est cher, on se sert de vieilles briques pilées, il faut alors changer un peu l'inclinaison. On a aussi montré à l'un de nous, à Imphy, des soles en fonte d'un demi-pied d'épaisseur, sur lesquelles on lui a dit qu'on puddlait sans les recouvrir d'aucune substance.

Le sable paraît encore préféré en Angleterre pour certaines qualités de fer; on emploie cependant bien plus communément les battitures. L'emploi du mélange des scories et de battitures était assez commun en France il y a deux ou trois ans. Quant à la chaux, elle a été essayée chez MM. Hannonet et Gendarme, et les expériences ont été décrites dans les *Annales*. (V. 1828, 6e. liv., p. 498.) L'emploi des soles en fonte sans les recouvrir est assez généralement blâmé. Nous ne l'avons vu adopté nulle part en Angleterre.

Lorsque l'on veut commencer le travail, on étend d'abord sur la sole la couche de sable ou de battitures pilées, sur une épaisseur de 2 pouces et demi à 3 pouces. On doit choisir les

battitûres les plus pures ou contenant le moins de matières nuisibles à la qualité du fer et les plus riches. On emploie ordinairement celles qui tombent des cylindres finisseurs ou étireurs; on les répartit uniformément sur la sole, et on chauffe le fourneau pendant cinq à six heures, avant d'introduire le fine-metal, de manière à produire une demi-fusion des battitures et à obtenir un fond bien uni, sans fissures, par lesquelles on pourrait perdre du métal.

Lorsque le fourneau de puddlage est en feu, l'ouvrier doit réparer la sole à la fin de chaque opération : cela consiste à l'unir de nouveau et à introduire de nouvelles scories pour boucher quelques cavités qui se sont faites pendant le *brassage* ou *puddlage* de la matière; il faut, en outre, détacher quelques morceaux de métal qui restent dans la sole.

Une sole ne dure qu'une semaine; à la fin de ce temps, elle doit être complétement renouvelée. Nous ajouterons ici que l'on calcule, en Staffordshire, que le pont d'un fourneau à puddler, la voûte et une partie du mur de derrière ont besoin de réparations après trois semaines de travail, et toutes les parties du fourneau au bout de trois mois.

Dans une usine de ce comté, le maçon entrepreneur reçoit 15 pences (1,50) par tonne de fer puddlé; pour construire et entretenir le fourneau; sur ces 15 pences, il en emploie 11 pour achat de matériaux.

Pendant la préparation de la sole, on a rangé en petits tas, près du fourneau, la quantité de fine-metal en morceaux que l'on traite dans une opération. Les morceaux pèsent 1, 2 ou 3 kilogrammes; on les dispose ordinairement en

piles de quatre morceaux, et l'ouvrier introduit chaque pile sur la sole, en la plaçant à l'extrémité d'un ringard terminé en forme de pelle, dont il fait glisser le manche sur le seuil de la porte.

On ferme ensuite toutes les portes et on élève la température du fourneau : au bout de peu de temps, la fonte commence à s'amollir; on la brise alors avec un ringard, et on finit par brasser très fortement la matière, en écartant du pont les parties qui s'échaufferaient trop et qui entreraient en fusion complète. Dans quelques usines, on bat le métal sur la sole avec un ringard terminé par une masse de fer; souvent on diminue un peu la chaleur, en fermant le registre de la cheminée ou en retirant du charbon. La température s'abaisse même quelquefois trop, alors on arrête le brassage un instant, et on tient toutes les portes fermées.

Lorsque les fontes sont impures dans quelques usines, par exemple chez M. Hill aux Plymouth-Works, on jette une petite quantité de chaux sur la fonte liquide.

Quand la matière est suffisamment affinée, l'ouvrier forme des loupes en faisant couler des portions de métal sur la sole : il la partage ainsi en six, sept ou huit loupes, pesant chacune environ 30 kilogrammes. Il range ensuite toutes ces loupes sur la sole; puis, fermant un instant toutes les portes du fourneau, il les amène à une température très élevée, qui commence à en mieux souder toutes les parties.

Durée de l'opération, consommations, déchet.

Dans un fourneau ordinaire, toute l'opération dure environ deux heures et demie. La charge est de 3 quintaux à 3 quintaux et demi (grand poids), ou de 360 à 420 liv. (164^{k},12 à 191^{k},30) de fine-metal. La consommation en houille est

d'environ une tonne pour affiner une tonne de fine-metal ; quelquefois elle est un peu plus considérable. Le déchet sur le fer est assez généralement de 10 pour 100 en Staffordshire et quelquefois de 11 à 12 pour 100 dans le pays de Galles. Il est, du reste, assez variable; à l'usine de Clydach près Abergavanny, dans le pays de Galles, une charge de 420 liv. de fine-metal donne 380 liv. de fer puddlé, qui ne correspond qu'à un déchet d'un peu moins de 10 pour 100.

Le produit d'un fourneau à une porte est d'environ douze tonnes (1) de fer en barres par semaine de six jours; celui d'un fourneau à deux portes de travail, dix-huit tonnes; enfin, un fourneau à deux portes, dont une seule de travail, paraît aussi produire de seize à dix-huit tonnes par semaine, car les ouvriers nous ont dit qu'on chargeait, dans ceux-ci, 4 quintaux ou 480 livres de fine-metal, et qu'on faisait huit opérations en douze heures. Nous n'avons pu nous procurer de donnée certaine pour évaluer l'économie en combustible qui leur est due.

Fourneau de puddlage du Yorkshire.

En Yorkshire, près Bradford, les fourneaux de puddlage sont plus petits qu'en Staffordshire : on ne travaille que 300 livres (135,93) de fine-metal par opération ; on consomme une tonne et quart de houille pour affiner une tonne de fine-metal.

Cinglage.

Les loupes étant préparées, comme nous l'avons dit, l'ouvrier en prend une avec des pinces et la traîne sous le marteau à cingler; on la place

(1) Cela paraîtra considérable ; mais une personne qui a dirigé des établissemens en Angleterre et en France nous a confirmé ce nombre, et nous a assuré que les ouvriers anglais, quoique faisant en France généralement plus d'ouvrage qu'un ouvrier français, travaillaient cependant moins dans ce pays qu'en Angleterre, où il était plus facile de les remplacer.

d'abord sur la table de l'enclume pendant qu'on façonne la loupe précédente sous le polissoir, de manière qu'elle n'est d'abord que faiblement comprimée sur toutes ses faces. Si le marteau agissait de suite avec tout son poids sur une loupe sortant du fourneau, elle tomberait infailliblement en morceaux. Lorsque la loupe est sur la table, on y soude une barre de fer, dont le bout a été d'avance fortement chauffé; on la passe pour cela par le trou, qu'on remarque en général en face du pont de tous les fourneaux de puddlage; c'est ensuite avec ce morceau de fer qu'on manœuvre la loupe sous le marteau; on la façonne en parallélipipèdes.

Étirage en barres.

Les loupes ainsi cinglées sont quelquefois passées immédiatement sous des cylindres et étirées en barres plates de 4 à 5 pieds de longueur, 4 pouces de largeur et 1 pouce d'épaisseur. Le fer ainsi obtenu ne pourrait pas être travaillé; aussi chaque barre est de suite coupée en quatre morceaux au moyen d'une cisaille.

Dans les usines où l'on n'emploie pas de marteau, la loupe, traînée avec une pince courbe, est de suite passée sous des ébaucheurs; on la passe plusieurs fois sous la première cannelure, et ensuite successivement sous six ou sept autres : elle a pris alors la forme d'un cylindre un peu équarri, de 3 ½ à 4 pieds de longueur; on la passe immédiatement sous d'autres cylindres à cannelures rectangulaires, de manière à obtenir aussi une barre de 5 ou 6 pieds de longueur, que l'on met de suite en morceaux au moyen d'une cisaille.

On tire quelquefois, dans le pays de Galles, de suite, des barres de 4 pouces de largeur et de 15 pieds de long, qui sont vendues aux chaufferies.

On a soin, pendant tout ce travail, de tenir le

fourneau de puddlage fermé tant qu'il y reste encore des loupes.

Voici comment on pouvait établir, l'été dernier, le prix de fabrication d'une tonne de fer, dit *common bloom*, dans une usine des environs de Dudley: Prix de fabrication d'une tonne de fer dit *common bloom* aux environs de Dudley.

		sh.	d.
22 quintaux de fine-metal . . . . liv.	5	6	8
20 quintaux de houille.	»	6	»
10 qx. de houille menue pour la machine.	»	1	6
Puddlage	»	8	6
Cinglage.	»	2	3
Pesage du fine-metal	»	»	3½
Pesage des *blooms*.	»	»	4
Construction et réparation du fourneau. . .	»	1	2
Réparation et main-d'œuv. de la machine.	»	»	8
Réparation d'outils.	»	»	8
Pièces de moulage, telles que marteaux, etc.	»	»	10
Administr., balayage, charpentier, etc. . .	»	2	»
Total.	6	10	10½

Le fer ainsi obtenu est en *pièces* ou *masseaux*, auxquels on donne le nom de *blooms*.

En transformant les nombres précédens en kilogrammes, on trouve qu'un quintal métrique de *common blooms* coûte à fabriquer 15f,04.

Le fer obtenu dans l'opération précédente doit encore subir au moins une opération avant d'être versé dans le commerce. Elle s'exécute dans le fourneau que nous avons décrit sous le nom de *heating-furnace*, et consiste à souder plusieurs, ordinairement quatre morceaux des barres obtenues précédemment. On dispose ces morceaux en piles ou trousses, et on arrange les trousses deux à deux, en croix, sur la sole du fourneau. Celle-ci est recouverte de sable; on a essayé les battitures, mais la grande chaleur les fondait, et les trousses s'enfonçaient dans cette masse pâ- Chaufferies.

teuse. La couche de sable doit être plus épaisse que dans les fours de puddlage, parce qu'autrement la grande chaleur pourrait fondre la sole en fonte; elle a de 7 à 8 pouces. On amène le fer à une température très élevée; les morceaux commençant à se souder, on porte chaque trousse sous des cylindres convenables, où elle est étirée en barres. On a soin, dans le laminage des barres plates, de les retourner toutes les fois qu'on les passe dans une nouvelle cannelure, et, dans l'étirage des barres carrées, de leur donner un quart de tour à chaque nouvelle cannelure, afin que le fer soit comprimé dans tous les sens et de rendre vives toutes les arêtes des barres. Si on n'en agissait pas ainsi, la dernière condition ne serait évidemment pas remplie d'après la description des cannelures que nous avons donnée plus haut. Lorsqu'on veut obtenir du fer de bonne qualité, on lui fait subir ordinairement plusieurs chaudes; chaque fois, le fer est mis en morceaux et on augmente ordinairement, à chaque nouvelle opération, le nombre des morceaux qui composent une trousse. Dans la dernière chaude, les trousses sont faites de morceaux de barres qui n'ont pas plus d'un pouce un quart de côté: elles sont liées ensemble au moyen de deux petits morceaux de verge de fer.

Voici quelques renseignemens sur la manière dont on se procure des fers de diverses qualités.

Pour fabriquer le fer commun (*common-iron*), on emploie du fine-metal provenant d'un mélange de

$\frac{2}{3}$ fonte blanche ou truitée,
$\frac{1}{3}$ fonte grisâtre.

Le déchet dans le four de puddlage est un peu plus de 11 sur 100 de fine-metal.

Le fer puddlé est coupé en morceaux, ces morceaux sont réunis en trousses ; on leur donne une chaude seulement et l'on étire en barres. Le déchet au réchauffage est d'environ 8 sur 100 de fer puddlé.

Le fer dit *best-iron* (le fer meilleur) se fabrique de la même manière avec du fine-metal provenant d'une fonte à grains fins blanchâtres, très-brillante dans la cassure, dite *high bright-pig*. La perte est peut-être un peu plus grande au puddlage, mais moindre au réchauffage.

Lorsque l'on veut avoir du fer de la qualité dite *best-best* (meilleur-meilleur), on se sert de fine-metal provenant des meilleures qualités de fonte brillante et on le travaille comme précédemment; seulement les trousses ne sont pas formées entièrement de fer puddlé ordinaire, mais elles se composent de la manière suivante.

1. Plaque puddlée ordinaire.
2. Plaque provenant du traitement de rognures.
3. Plaque puddlée ordinaire.

ou bien :

1. Plaque puddlée ordinaire.
2. Plaque de rognures.
3. Plaque puddlée.
4. Plaque de rognures.
5. Plaque puddlée.

On voit, d'après ce procédé, que la bonté du fer ne dépend pas toujours du plus ou moins grand nombre de corroyages qu'il a subis. Il arrive même que des fers trop souvent réchauffés et corroyés finissent par perdre leur qualité.

Le maçon-entrepreneur reçoit, dans une des usines du Staffordshire, pour la construction et

l'entretien des fourneaux de chaufferie, 6 p. (0,60) par tonne de fer en barres.

Fenderies. Dans une usine, située près de Dudley, pour faire des baguettes à clous, on tire de suite les loupes en barres de 5 ou 6 pieds de longueur et de 4 pouces de largeur, comme nous l'avons déjà dit. On les coupe, après cela, en morceaux ayant 1 pied ou 15 pouces de longueur; avec quatre de ceux-ci on forme des paquets; on les chauffe et on les étire en une barre de 6 pieds de longueur et de 4 pouces de largeur. Cette dernière est aussi divisée en quatre morceaux, et est encore assez chaude pour être immédiatement passée sous d'autres cylindres, qui lui donnent la longueur et l'épaisseur des baguettes à faire des clous: la longueur est d'environ 5 pieds. De là, la barre passe une fois sous des cylindres unis, et enfin sous la fenderie. Tous ces cylindres sont disposés en face les uns des autres, et le travail se fait avec une rapidité extrême.

A Stourbridge, le fer destiné à être fendu reçoit toujours deux chaudes. Après la seconde, la trousse est laminée, coupée avec la cisaille; enfin, de suite, passée sous la fenderie, comme nous venons de dire que cela se pratique à Dudley. Mais on prend un soin particulier dans l'étirage: lorsque la barre a déjà passé sous deux cannelures et est longue de 2 ou 3 pieds, on la passe sous une grande cannelure mince, de manière qu'elle pose sur sa plus petite épaisseur, et que sa dimension en largeur soit dans une position verticale. Cette cannelure est faite de deux cannelures rentrantes, une dans chacun des deux cylindres. La barre passe ensuite sous une dernière cannelure, puis sous les cylindres unis, et enfin sous la fenderie.

Fabrication du fer de rognures (*scraps-iron*).

Les fenderies et les tôleries donnent beaucoup de rognures; on chauffe celles-ci dans un petit fourneau à réverbère particulier, sur la sole duquel on les charge à la pelle sans prendre aucune précaution. Ces rognures se fondent en masses, qui sont forgées et laminées; elles donnent du fer de très bonne qualité.

Dans le pays de Galles, on réchauffe le fer de même que dans le Staffordshire. Les trousses, dans certaines usines, sont passées sous des espèces d'ébaucheurs, ayant d'abord deux grandes cannelures rectangulaires à angles arrondis, et ensuite des cannelures ovales à la manière ordinaire. De là, les barres passent immédiatement sous des étireurs.

Fabrication du fer près de Bradford (Yorkshire).

On fait en Yorkshire, près Bradford, un fer très estimé en Angleterre, et dont le prix, dans le commerce, est presque le double du prix du fer gallois. Voici la suite des opérations qu'il subit : les loupes sortant du fourneau de puddlage sont cinglées à la manière ordinaire, et tirées de suite en barres d'environ 1 pouce d'épaisseur et 4 ou 5 pieds de longueur. Cette barre est mise en morceaux, au moyen d'une espèce de mouton. La cassure de ce métal présente de grandes paillettes et a un peu la couleur de la fonte. On forme les trousses avec les morceaux qui en proviennent et des rognures de barres; on leur donne une chaude, et on les cingle de nouveau à la manière des loupes : on obtient ainsi des parallélipipèdes de 2 à 3 pieds de longueur et 3 pouces d'épaisseur; ces parallélipipèdes sont chauffés de nouveau et étirés en barres. La perte, dans cette dernière opération, est d'un quintal $\frac{1}{4}$ par tonne ou 6 $\frac{1}{4}$ pour 100. Les barres sont encore portées

au rouge dans une sorte de fourneau de tôlerie et parées sous un marteau à panne étroite.

Le déchet et la consommation d'une chaude varient avec l'échantillon du fer que l'on fabrique; le déchet d'une chaude dépasse rarement 8 ou 9 pour 100, en tenant compte du fer que l'on retrouve dans les rognures. A Stourbridge, le fer sortant du fourneau de puddlage perd, en deux chaudes, 12 $\frac{1}{2}$ pour 100 pour être transformé en fer de petit échantillon.

Les fers du Yorkshire (Lowmoor et Bowling) sont à peu près égaux aux meilleurs fers du Staffordshire qui sortent des usines de Stourbridge; ils ont beaucoup de nerf et une couleur blanc bleuâtre qui est estimée. Les fers d'Angleterre, de première qualité, ont sur les fers de Suède l'avantage d'être plus homogènes; mais ils partagent les défauts de tous les fers fabriqués au laminoir.

Nous joignons ici le prix de fabrication de plusieurs échantillons du fer, tel qu'on pouvait l'établir, l'été dernier, dans une usine des environs de Dudley. Nous donnerons ainsi en même temps la consommation de combustible dans diverses opérations.

Prix de fabrication du fer fendu (*common-rods*).

On fait quelquefois du fer fendu avec le fer que nous avons désigné sous le nom de *common-bloom;* ce fer fendu prend alors le nom de *common-rods.* Le prix de fabrication d'une tonne peut s'établir ainsi :

		sh.	d.
22 quintaux de common-blooms. . . . .liv.	7	5	10
10 quintaux de houille.	»	3	6
10 qx. de houille menue pour les machines. .	»	1	»
Laminage et fenderie.	»	7	»
Faux frais.	»	6	»
Prix total d'une tonne (*long-weight*), liv. st.	8	1	4

C'est le prix de fabrication de 2,400 livres.

Celui du quintal métrique serait donc 18f,55.

Prix du fer ordinaire en barres, dit *common-merchant-iron :*

Prix de fabrication du fer en barres (*common-merchant-iron*).

20 qx. 1/2 de common-blooms (2,460 l.)	6	14	1
12 quintaux de houille.	»	3	6
10 quintaux de houille menue.	»	1	6
Étirage	»	5	»
Faux frais.	»	5	6
Prix total d'une tonne (*short-weight*).	7	9	7 (1)

C'est le prix de 2,240 livres. 100 kilogrammes coûteraient 18f,42.

On fait quelquefois des loupes plus petites que les loupes ordinaires, on les nomme *billets*, et on les emploie dans la fabrication de certains échantillons.

Prix du fer commun en bandes, dit *common-hoops :*

Prix de fabrication des bandes de fer (*common-hoops*).

		sh.	d.
20 quint. 3/4 de *common-billets* (2,490 l.).	6	17	»
15 quintaux de houille	»	4	6
10 quintaux de houille menue.	»	1	6
Étirage et laminoir des bandes.	»	13	6
Faux frais	»	12	9
Prix total d'une tonne (*short-weight*). . .	8	9	3

C'est le prix de 2,240 livres. 100 kilogrammes coûteraient 20f,84.

(1) Ce prix de fabrication, comparé au prix courant actuel, pourra paraître trop élevé; nous avons cependant de fortes raisons de croire à l'exactitude des comptes que nous donnons ici. Mais il faut songer que les usines qui, aujourd'hui, peuvent encore vendre sans perte, se procurant la houille à 6 shell. ou peut-être moins et le minérai à 7 sh., ont la fonte de forge à 3 liv. 10 shell. au lieu de 4 liv. que nous avons comptées. Il est aussi incontestable que dans un grand nombre d'usines du pays de Galles le bas prix de la houille permet de fabriquer à beaucoup meilleur marché que dans le Staffordshire.

Prix de fabrication de la tôle pour chaudières (*common-boiler-plate*).

Prix de la tôle pour chaudières, dite *common-boiler-plate :*

20 quint. 1/2 (2,460 liv.) de fer forgé en plaques d'environ 15 pouces, sur 10 pouces sur 2 pouces	7	3	6
15 quintaux de houille	»	4	6
15 quintaux de houille menue	»	2	3
Laminage	»	10	»
Perte par quatre quintaux de rognures	»	8	»
Faux frais	»	15	»
Total pour 2,240 livres	9	3	3

100 kilogrammes coûteraient 22,56.

A tous ces nombres il faut ajouter l'intérêt des capitaux engagés ; la houille menue est toujours brûlée sous les chaudières des machines.

Prix de fabrication du fer en feuilles minces (*common-single-sheet*).

Prix du fer en feuilles minces ; dit *common-single-sheet :*

		sh.	d.
20 qx. 3/4 de fer commun en barres (2,490 l.)	8	6	»
25 quintaux de houille	»	7	6
20 quintaux de houille menue	»	3	»
Laminage	»	15	»
Réchauffage	»	2	6
Perte sur 4 quintaux de rognures	»	12	»
Faux frais	1	»	»
Prix de 2,240 livres	11	6	»

Prix de 100 kilogrammes... 27f,82.

Prix de fabrition du fer en feuilles plus épaisses (*common-double-sheet*).

Prix du fer en feuilles plus épaisses, dit *common-double-sheet :*

21 qx. de fer commun en barres (2,520 l.)	8	8	»
30 quintaux de houille	»	9	»
25 quintaux de houille menue	»	3	9
Laminage	1	»	»
Réchauffage	»	2	6
Perte sur 4 quintaux de rognures	»	12	»
Faux frais	1	5	»
2,240 livres	12	»	3

Prix de 100 kilogrammes..... 29f,53.

Prix de fabrication de la tôle commune (common-latten).

Prix de fabrication de la tôle commune pour fer-blanc, dite *common-latten :*

21 qx de fer commun en barres (2,520 l.).	8	8	»
40 quintaux de houille.	»	12	»
50 quintaux de houille menue.	»	4	6
Laminage.	1	5	»
Réchauffage	»	2	6
Perte sur 4 quintaux de rognures.	»	13	6
Faux frais.	1	10	»
2,240 livres de tôle commune.	12	15	6

Prix de 100 kilogrammes.... 31f,46.

Nous avons dit, en commençant, que l'on distinguait les diverses qualités de fer par les mots *common, common-best, best,* etc. Tous les prix que nous venons de donner précédemment se rapportent à la qualité dite *common-best.* Les qualités supérieures coûtent plus cher; mais nous ne connaissons pas bien la différence.

Consommations de matières premières pour la fabrication d'un quintal de fer forgé.

Si maintenant nous rappelons les consommations que nous avons données pour la fabrication de la fonte en Staffordshire, nous trouverons les résultats suivans, correspondant aux consommations de la fabrication d'un quintal métrique de fer en barres dans ce comté:

395k,59	Minérai cru.	donnent 134k,61 de fonte (*forge-pig*).
85 ,07	Castine.	
514 ,77	Houille.	
100 ,85	Houille menue.	

134,61 de fonte donnent 121 de fine-metal. Le finage consomme 86,25 de houille, 25 de houille menue.

121 de fine-metal donnent 110 de fer puddlé.

Le puddlage consomme 110 de houille et 55 de houille menue.

110 de fer puddlé donnent 100 de fer en barres. L'opération consomme 60,72 de houille et 50,75 de houille menue.

La consommation totale de la houille de la fabrication d'un quintal métrique de fer se compose donc de :

514^{k},77 dans le haut-fourn.	100,85 menu p^{r}. mach. souffl.
86 ,25 dans la finerie. . . .	25. . . . .*id.*
110 , » dans le puddlage. . .	55. . . .*id.* p^{r}. les cylindr.
60 ,72 dans la chaufferie.	50,75. .*id.* . . . .*id.*
771,74 de houille.	231 ,60 de houille menue.

La consommation totale en houille est donc dix fois le produit du fer en barres.

Nous placerons ici quelques renseignemens sur la fabrication du fer au charbon de bois, que nous avons négligé de donner à la suite de notre article sur ce sujet. (*Annales,* 1re. liv. 1829.)

Renseignemens sur le mode de fabrication de diverses espèces de fer au charbon de bois.

Pour faire des masseaux, dits *tin-bloom* ou masseaux pour la tôle à étamer, on prend du fine-metal provenant des meilleures fontes. Le plus souvent, dans le pays de Galles, on emploie, pour la fabrication de ce fine-metal, des fontes produites par des mélanges de minérai renfermant beaucoup de fer hématite. On affine, dans un foyer, avec du charbon de bois, comme nous l'avons dit, et on réduit la loupe en barres épaisses au moyen d'un marteau léger : 24 ou 24 $\frac{1}{2}$ de fine-metal produisent une tonne ou 20 quintaux de fer ainsi forgé (*stamped-iron*). Les barres sont brisées en morceaux, réchauffées avec du coke dans des fourneaux particuliers et cinglées. Le déchet, dans cette seconde opération, est de 3 quintaux sur 23 quintaux de barres.

Lorsque l'on veut fabriquer des masseaux pour fil de fer, on prend du fine-metal provenant des meilleures fontes brillantes (*best-bright-pig*), et après l'avoir affiné dans un foyer avec du charbon de bois. on le cingle immédiatement; 24 ou 24 $\frac{1}{4}$ de fine-metal en donnent 20 de masseaux.

Ceux-ci sont réchauffés dans un four à réverbère ordinaire (*heating-furnace*) avec de la houille et tirés en fil de fer après avoir subi un nouveau déchet de 10 pour 100.

Le fer à charbon de bois pour verges à clous est préparé de la même manière, avec cette différence cependant qu'au lieu d'être forgé ou cinglé, il est étiré en barres au sortir du foyer, sous des laminoirs, puis chauffé de nouveau et fendu, avec un déchet de 3 pour 100 seulement dans cette dernière opération.

Disposition générale des usines à fer en Angleterre et devis estimatifs.

Nous terminerons enfin ce Mémoire sur la fabrication de la fonte et du fer malléable par quelques données sur la disposition générale des forges, et par un devis estimatif des différentes machines qu'on y emploie et du fond de roulement.

Les hauts-fourneaux sont construits aussi près que possible du puits ou de la galerie, dont on retire ordinairement en même temps le combustible, le minérai et quelquefois aussi la pierre ou l'argile réfractaire. Dans plusieurs usines du Staffordshire et dans un petit nombre de celles du pays de Galles, un chemin de fer de peu de longueur met en communication l'orifice du puits et le gueulard du fourneau. Dans la plupart des usines du Staffordshire, les hauts-fourneaux étant construits en plaine, on arrive à leur sommet, ainsi que nous l'avons déjà dit, par un plan incliné. La houille est alors carbonisée et le minérai grillé sur une aire, aussi près de la partie inférieure du fourneau que les circonstances le permettent. Dans le pays de Galles, les hauts-fourneaux étant souvent adossés à des collines, et les minérais étant grillés en vases

Disposition des hauts-fourneaux.

clos, on élève les fours de grillage à quelques pas en arrière du gueulard. Un peu plus vers le haut de la colline, sur une surface que l'on a soin de rendre peu inclinée, sont disposées les meules de coke. Les machines soufflantes, placées dans un petit bâtiment particulier, transmettent le vent au fourneau par des tuyaux qui circulent au dessous et à l'entour, ainsi que cela est indiqué dans l'ouvrage de MM. Dufrénoy et de Beaumont. Un hangar est ordinairement construit devant l'embrasure de coulée. Nous ne faisons que rappeler ici une partie des détails déjà donnés dans le courant du Mémoire.

Un nombre suffisant de fineries se trouve rassemblé dans le voisinage des hauts-fourneaux, et enfin il arrive souvent que, le fer étant affiné dans la même usine, les différentes parties d'une forge soient réunies sous un toit particulier.

Dispositions de forges à l'anglaise.

Les Pl. V et VI indiquent deux dispositions différentes d'usines, l'une du pays de Galles, l'autre du Staffordshire. Le moteur est, dans l'un et l'autre établissement, une roue à eau, à laquelle attient une roue dentée de même diamètre. Ces roues sont assez communes dans le pays de Galles, où quelques localités réunissent l'avantage de posséder une abondante chute d'eau à un grand nombre d'autres circonstances favorables. Dans le Staffordshire, où l'eau manque, on n'emploie que des machines à vapeur, qui communiquent le mouvement par un système d'engrenages indiqué *fig.* 3, Pl. VI. Si donc, *fig.* 1, nous avons figuré une roue à augets, c'est simplement pour donner une idée plus claire des deux espèces de roues de ce genre dont on se sert en Angleterre, appareil moins connu en France que les machines à vapeur. On voit, *fig.* 1, Pl. VI, que la roue

dentée partage la roue à augets, suivant sa longueur, en deux parties égales, et que, Pl. V, la roue dentée est attachée à une de ses faces latérales. Des deux dispositions de la roue d'engrenage la dernière est préférée : on ne peut espérer ni avec l'une ni avec l'autre une grande régularité de mouvement.

Passons maintenant au devis des différentes parties d'une usine à fer ; MM. Dufrénoy et de Beaumont ont donné une estimation du coût d'un haut-fourneau, de la machine soufflante, etc. Nous n'avons à communiquer sur ce sujet aucunes données plus complètes que celles qu'ont imprimées ces messieurs, mais nous nous sommes procuré des devis de forges qui nous semblent de nature à intéresser quelques uns de nos lecteurs, et sur la parfaite authenticité desquels on peut compter. Les voici :

Devis estimatif des forges en Angleterre.

Devis des machines nécessaires à une forge qui doit fabriquer cent vingt tonnes de fer par semaine, établi par le directeur de l'usine de Neath-Abbey, pays de Galles.

Devis d'une forge devant produire cent vingt tonnes de fer par semaine, fourni par l'usine de Neath-Abbey (pays de Galles).

Machine à vapeur de Bolton et Watt à double effet et basse pression, avec un cylindre de 40 pouces, la course du piston étant de 8 pieds ; chaudière en tôle, tuyaux, barreaux de grille, portes de foyer, et toute pièce de fonte de fer ou laiton nécessaire pour monter ou assujettir l'appareil.	1600 l. st.	40,240 f. 00 c.
Système de roues destinées à convertir le mouvement rectiligne de la bielle en mouvement circulaire et à le transmettre, volant, etc. (*rotative machinery*)	1,090 l. st.	27,413 f. 50 c.
Un système d'ébaucheurs, pignons, montans, et en général toute espèce de pièces de fonte de fer ou de laiton nécessaire pour monter cet appareil.	525 l. st.	13,203 f. 75 c.
A reporter.	3,215 l. st.	80,857 f. 25 c.

Report.	3,215 l. st.	80,857 f. 25 c.
Deux paires, ou un système de finisseurs, avec tout leur attirail.	525 l. st.	13,203 f. 75 c.
Deux paires de cisailles prêtes à être montées, à raison de 170 l. la pièce.	340 l. st.	8,551 f. » c.
Une paire de cylindres de 10 pouces de diamètre, pour la fabrication du petit fer, avec tout l'attirail nécessaire pour la monter.	230 l. st.	5,784 f. 50 c.
Marteau, y compris l'enclume, l'arbre à cames, et toute pièce de fer, fonte ou laiton qui sert à monter l'appareil.	185 l. st.	4,652 f. 75 c.
Un tour complet.	200 l. st.	5,030 f. » c.
	4,695 l. st.	118,079 f. 25 c.

A cela il faut ajouter :

Un assortiment de cylindres de rechange, pesant environ 60 tonnes ; la tonne coulée brute coûtant 13 liv. st. et 16 livres après avoir été achevée sur le tour, cela fait.	960 l. st.	24,144 f. » c.
Articles de rechange pour la machine à vapeur.		
150 tonnes de fonte en plaques pour couvrir le sol de l'usine, à raison de 6 liv. la tonne.	900 l. st.	22,635 f. » c.
Pièces en fonte pour un fourneau à réverbère, environ 8 tonnes, à 6 liv. 6 sh. la tonne.	52 l. st.	1,307 f. 80 c.
Outils, tels que ringards, etc., en fer malléable, à raison de 28 liv. la tonne, une tonne. .	28 l. st.	704 f. 20 c.
Pièces en fer pour un fourneau à la Wilkinson.	50 l. st.	1,257 f. 50 c.
A reporter. . . .	1,990 l. st.	50,048 f. 50 c.

A reporter.	1,990 l. st.	50,048f.50c.
Soufflet pour ce fourneau. .	80 l. st.	2,012f. »c.
Pièces en fer pour une petite forge à deux feux, deux soufflets, deux enclumes, outils avec faces aciérées, outils en fer non aciérés, etc., etc.	100 l. st.	2,515f. »c.
Pièces en fonte, coulées à découvert, pour un fourneau de puddlage, 8 tonnes, à raison de 6 liv. 6 sh. par tonne, 52 liv. Pièces en fer malléable, 13 qx. à 28 shell.; le quintal, 18 liv. 4 shell. En supposant quatorze fourneaux de puddlage, cela ferait environ	983 l. st.	24,722f.45c.
Pièces en fonte pour un fourneau de chaufferie, 7 tonnes à 6 liv. 6 sh. la tonne, 45 livres. Pièces en fer malléable, environ 18 livres : cela fait environ 63 livres par fourneau ou pour quatre fourneaux.	252 l. st.	6,337f.80c.
Outils des ouvriers puddleurs et autres ouvriers, à 4 1/2 d. la liv., environ 7 quintaux et 10 liv. en nombres ronds. .	15 l. st.	377f.25c.
Pièces en fer pour deux grues construites partiellement en bois.	50 l. st.	1,257f.50c.
Total.	3,470 l. st.	87,270f.50c.
Y ajoutant le prix de la machine, des cylindres, etc.	4,695 l. st.	118,079f.25c.
Nous avons pour le prix total des machines et parties en fonte ou fer de l'usine.	8,165 l. st.	205,349f.75c.

Si nous ne tenons compte que des dépenses de la forge proprement dite, nous pouvons de cette

somme supprimer 182 livres sterling, qui ont été comptées pour un fourneau à réverbère et un fourneau à la Wilkinson.

D'un autre côté, nous ajouterons 185 liv. st. pour un second marteau et 4000 liv. sterl. pour emplacement, maison de la machine à vapeur, hangar, dépenses imprévues, etc. On observera cependant que l'évaluation de cette dernière somme est assez arbitraire : car les élémens dont elle se compose, celui surtout qui est le plus important, le coût de l'emplacement, varient dans des limites assez étendues, suivant les localités. Soient donc [illegible] l. st. ([illegible] fr.) environ le capital que représente l'établissement, à l'exception de la maçonnerie des fourneaux.

[illegible] du Staffordshire.

Les devis suivans ont été faits dans une usine du Staffordshire :

Une machine à vapeur de 60 chevaux.	2,016 l. st.	50,702 l. 40c.
Cylindres, etc., pour faire 100 tonnes de fer par semaine, avec les ferremens de dix fourneaux de puddlage.	2,572 l. st.	64,685 l. 80c.
TOTAL.	4,588 l. st.	115,388 f. 20c.

On voit que le prix de la machine à vapeur et celui des cylindres, etc., plus le ferrement de dix fourneaux de puddlage, sont chacun moindres que dans le devis du pays de Galles : mais il est bon d'observer que l'usine de Neath-Abbey a la réputation de donner des produits de meilleure qualité que l'usine du Staffordshire.

[illegible] D'après des devis établis à Neath-Abbey, dans le cas où l'on se servirait d'une roue à eau de 30

pieds de diamètre au lieu d'une machine à vapeur, le moteur coûterait, avec le système des roues d'engrenage, pour transmettre le mouvement, 1820 livres sterl. au lieu de 2690, et le marteau, que l'on ne peut faire marcher que par l'intermédiaire d'un mécanisme plus compliqué, coûterait 430 liv. st. au lieu de 185, en sorte que le devis total du moteur, des cylindres et du marteau se réduirait à 4070 liv. st. (102,360 fr. 50 c.) au lieu de 4695 liv. st. (118,079 fr. 25 c.).

d'une roue à eau à la machine à vapeur dans le devis de Neath-Abbey.

D'après des devis semblables établis dans le Staffordshire, la roue à eau, avec les roues d'engrenage pour transmettre le mouvement, coûterait 1422 liv. st. (35,763 fr. 30 c.).

Enfin, voici deux devis calculés dans le Staffordshire pour une forge devant produire cent quatre-vingts tonnes par semaine :

Devis d'une forge devant produire 180 tonnes de fer par semaine.

Deux machines à vapeur de la force de 60 chev. chacune..	4,032 l. st.	101,404 f. 80 c.
Cylindres, etc., pour faire 180 tonnes de fer en barres, tôle, fer fendu, rubans, etc...	4,775 l. st.	120,091 f. 25 c.
Total.......	8,807 l. st.	221,496 f. 5 c.

Ou, dans le cas où l'on emploierait des roues à eau :

Deux roues à eau, chacune de 30 pieds de diamètre.....	2,845 l. st.	71,551 f. 75 c.
Cylindres, etc...........	4,775 l. st.	120,091 f. 25 c.
Total.........	7,620 l. st.	191,643 f. » c.

Prenons pour base des frais d'établissement,

Estimation

du fonds de roulement nécessaire pour fabriquer 120 tonnes de fer par semaine.

en Angleterre, d'une forge devant produire cent vingt tonnes de fer en barres par semaine, la somme de 12,000 liv. st. (301,800 fr.), qui résultait de notre premier devis; rappelons-nous que ce prix de fabrication d'une tonne de fer en barres, y compris les frais d'administration, main-d'œuvre et même de construction et réparations des fourneaux, mais non compris l'intérêt des capitaux engagés, est, d'après les comptes donnés, page 69, environ 7 liv. 10 sh. (188 fr. 65 c.). Multipliant cette valeur par $120 \times 52 = 6240$, nous aurons 46,800 liv. st. (1,177,020 fr.) comme évaluation de la mise hors de fonds annuelle pour les frais de fabrication. Additionnant cette somme avec 12,000 liv. st., nous nous formerons une idée approximative du capital que nécessite en Angleterre une semblable forge : ce capital se montera à 58,800 liv. st. : disons 60,000 liv. st., ou environ $1 \frac{1}{2}$ million de francs.

Conclusion.

Comparant les détails des comptes que nous venons d'établir avec le relevé des frais qu'occasione un établissement semblable sur le continent, on pourra juger en quoi consiste la différence entre les dépenses d'une usine à fer créée en Angleterre ou dans un autre pays; on verra jusqu'à quel point il y a de l'avantage à acheter les machines en Angleterre et à supporter les frais de transport et les droits d'entrée. Les fabricans du continent pourront aussi se faire une idée des avantages avec lesquels ils peuvent lutter contre les forges de la Grande-Bretagne avec la protection d'un droit déterminé.

Observation sur le prix de fabrication de la fonte.

Nous avons donné, dans notre article sur les hauts-fourneaux, les prix de fabrication de la fonte dans le Staffordshire et dans le pays de Galles; mais, d'après des renseignemens que nous avons reçus récemment du Staffordshire, il paraîtrait que l'on doit baisser à 6 shell. le prix de la tonne de houille, à 7 shell. le prix de la tonne de minérai pour fonte de fer, et enfin à 10 shell. le prix de la tonne de minérai pour fonte de moulage, et qu'on emploierait alors de celui-ci 2 tonnes 15 quintaux pour une tonne de fonte, au lieu de 2 tonnes 10 quintaux que nous avons indiqués. Le prix de revient de la tonne de fonte de forge se réduirait ainsi à 3 liv. 14 sh., et celui de la fonte douce à 4 liv.

Observations générales.

Ces prix de fabrication ont leur limite inférieure dans le prix de la main-d'œuvre et celui-ci, comme, on le sait, n'est altéré que par un concours de circonstances que des événemens extraordinaires et passagers ou une longue série d'années peuvent seuls amener. Il paraît qu'aujourd'hui, en Angleterre, surtout dans le Staffordshire, l'on a à peu près atteint cette limite inférieure : le grand nombre d'usines qui chôment l'atteste. Il est vrai que l'on peut aussi attribuer cette stagnation du commerce du fer au manque de débouchés. Il ne nous semble pas probable cependant que, lors même que l'on ouvrirait de nouveaux marchés au débit de ces produits, les maîtres de forges anglais, ou du moins ceux du Staffordshire, pussent, tout en remettant en activité leurs usines aujourd'hui arrêtées, supporter encore une baisse de quelque importance dans le prix de vente. Il n'en serait peut-être pas de même dans le pays de

Galles. A la solution de ces questions se lie intimement celle de la question du maintien ou de la diminution des droits sur les fers étrangers. On sait, du reste, que de nouvelles usines s'élèvent en France, qui, dit-on, n'auront à craindre, en aucun cas, la concurrence des usines anglaises dans un rayon de pays considérable.

NOTE

Sur les fonderies d'Angleterre ;

Par MM. COSTE et PERDONNET.

La fonte est refondue dans les *fourneaux à manche* et dans les *fourneaux à réverbère.*

Il n'est guère possible d'établir une comparaison entre le travail des fourneaux à manche et celui des fourneaux à réverbère, afin de déterminer lesquels de ces fourneaux doivent être préférés. Les premiers ont l'avantage de donner de la fonte toutes les demi-heures ou toutes les heures, mais en petite quantité : on doit donc les employer dans le moulage des poteries et des petits objets. Les autres peuvent contenir une grande quantité de fonte liquide à la fois, et doivent nécessairement servir dans le moulage des grosses pièces.

Fourneaux à la Wilkinson.

La forme intérieure des fourneaux à la Wilkinson ou *coupelos* varie peu ; elle est toujours cylindrique ou plutôt un peu conique. Leur hauteur est de $4\frac{1}{2}$ à 7 pieds ($1^m,37$ à $2^m,13$). Le plus souvent, dans le Staffordshire, ils ont 5 ou 6 pieds. Le diamètre varie de 1 pied ($0^m,304$) à 20 pouces et même 2 pieds ($0^m,608$); quelquefois la forme intérieure est carrée ou rectangulaire ; le plus souvent, ces fourneaux ont deux tuyères, placées sur des faces opposées. On ménage, en outre, des trous à diverses hauteurs, dans lesquels on puisse placer les buses, à mesure que le Forme et dimensions.

fourneau s'emplit de fonte, et lorsque l'on désire obtenir une assez grande quantité de métal à la fois. L'intérieur du fourneau est en briques réfractaires et l'extérieur est toujours garni de fortes plaques de fonte. Les coupelos sont le plus souvent surmontés d'une cheminée assez haute en briques, on ménage seulement une ouverture pour le chargement dans la face postérieure de la cheminée, et l'on établit ordinairement une petite plate-forme, sur laquelle monte l'ouvrier pour verser dans le fourneau la fonte et le coke.

Chauffage de chaudières avec la flamme d'un fourneau à la Wilkinson.

Nous avons vu, à Birmingham, une disposition particulière, au moyen de laquelle la flamme d'un fourneau à manche est employée à chauffer une chaudière de machine à vapeur. La chaudière repose sur une voûte demi-cylindrique, horizontale, qui s'étend jusque sur le gueulard; cette voûte est ouverte à une des extrémités, afin qu'on puisse charger le fourneau; à l'autre extrémité aboutit une cheminée verticale. Le tirage fait incliner la flamme du côté de la cheminée, de manière qu'elle passe tout entière sous la chaudière.

Travail des fourneaux à la Wilkinson.

Le travail des fourneaux à manche est très simple et n'exige aucun soin : il consiste à tenir le fourneau plein de coke, et à charger par dessus les morceaux de fonte; celle-ci est en petites gueuses de $1\frac{1}{2}$ à 2 quintaux ($76^{k},12$ à $101^{k},49$); on les casse en quatre ou cinq morceaux pour les jeter dans le fourneau.

Addition de castine.

Le plus souvent on ajoute à la fonte une petite quantité de calcaire, environ 12 pour 100 de son poids. Le calcaire, par la chaux qu'il contient, enlève le soufre et le phosphore que la

fonte peut renfermer. D'un autre côté, d'après des expériences que l'un de nous, M. Coste, a faites en France, la castine, ajoutée à la fonte dans des coupelos, la blanchit quelquefois en hâtant trop la fusion.

On arrête le soufflet pendant la coulée. Nous ne connaissons pas la quantité de vent donnée à un fourneau à manche ; elle doit être très variable, et de cette quantité dépend beaucoup le produit des fourneaux : aussi voit-on des fourneaux peu différens par leurs dimensions l'être beaucoup par la quantité de leurs produits. La pression du vent est en général de 1 ½ livre à 2 livres. Quantité de vent et pression.

Le déchet de la fonte dans les fourneaux à manche est de 5, 6 ou 7 pour 100. La consommation de coke est de 25 à 30 pour 100 du poids de la fonte. Déchet.

Voici des détails sur quelques fourneaux :

A Birmingham, un fourneau de 5 pieds ($1^{m},52$) de hauteur fondait une tonne en six heures ; un autre fourneau de la même usine, ayant 6 pieds ($1^{m},83$) de hauteur, fondait une tonne et ¼ en six heures, et la fonte était plus douce que celle du premier. Fourneau de Birmingham.

Chez MM. Fairbairn et Lillie, à Manchester, les fourneaux à la Wilkinson ont 7 pieds de hauteur et 2 pieds de diamètre intérieur. Ils sont ronds, construits intérieurement en briques et entourés de fortes plaques de tôle réunies par des boulons. Le vent, dont la pression monte jusqu'à 5 livres, est donné par deux buses, chacune d'environ 1 ¼ pouce de diamètre. On y passe de vingt à vingt-cinq tonnes en soixante heures, ce qui fait de deux tonnes à deux ½ tonnes Fourneaux de Manchester.

en six heures ; mais l'on nous a dit que l'on pouvait aisément augmenter beaucoup cette quantité de produit fondu. Le coke dont on se servait dans cette usine était un coke pesant. D'après les livres, que l'on a eu l'extrême obligeance de nous laisser consulter, on en consommait 32 livres pour 112 livres de fonte, ce qui fait un peu plus de 28 pour 100 ; mais ce nombre correspond au travail d'une semaine, et l'on arrête le fourneau chaque jour. On brûlerait moins de combustible si le fondage n'était pas ainsi interrompu.

Dans une autre fonderie de Manchester, les fourneaux étaient semblables à ceux que nous venons de décrire. La pression du vent était de 1 $\frac{1}{2}$ à 2 livres par pouce carré, le déchet de 7 à 7 $\frac{1}{2}$ pour 100. On passait de trois à trois tonnes et demie en six heures, et la consommation de coke était de 30 livres pour 112 livres de fonte.

A Stourbridge, près Dudley, on nous a assuré que des fourneaux n'ayant que 4 pieds de hauteur passaient deux tonnes et demie en six heures.

Fourneau de Newcastle.

A Newcastle-sur-Tyne, un fourneau de 6 $\frac{1}{2}$ pieds de hauteur, rectangulaire, ayant 22 pouces de côté sur 30, fondait, nous a-t-on dit, une tonne par heure. Cela semble considérable ; mais nous observerons que ce fourneau recevait le vent de deux buses ayant chacune 3 pouces de diamètre.

Fourneau de Glasgow.

A Glasgow, on emploie des fourneaux de 7 pieds de hauteur et de 2 à 2 $\frac{1}{2}$ pieds de diamètre. Nous n'avons pas sur le produit et la consommation de ces fourneaux de données qui nous paraissent exactes.

Dans l'expérience qu'a faite M. Coste, le fourneau avait 4 pieds de hauteur et recevait tout le

vent que l'on donne habituellement, en France, à un haut-fourneau à charbon de bois; on ne pouvait passer cependant que 300 livres de fonte par opération de 45 minutes, ce qui ne fait que 24 quintaux en six heures.

Fourneaux à réverbère.

Les fourneaux à réverbère employés à refondre la fonte sont de deux espèces, à *simple* et à *double* voûte. Les fourneaux à double voûte sont généralement employés en Staffordshire; on trouve qu'ils brûlent un peu moins de houille que les fourneaux ordinaires, et surtout qu'ils donnent un déchet moindre sur la fonte. Les fourneaux à simple voûte sont, au contraire, généralement en usage dans le pays de Galles; en Yorkshire et en Écosse, ils sont même préférés. Cela peut tenir à ce que les fourneaux à double voûte sont plus difficiles à bien construire que les autres; on sait, en outre, que l'on charge la fonte dans les fourneaux à double voûte vers la cheminée, en sorte que la matière fondue coule vers le pont. Elle est donc rencontrée par le courant de flamme et de fumée arrivant de la grille, et on y trouve un inconvénient lorsque le charbon contient des matières sulfureuses. Les fourneaux à double voûte offrent cet avantage que la fonte en fusion, réunie dans un espace assez étroit et profond, offre moins de surface à l'oxidation que dans les fourneaux ordinaires. Il arrive aussi que, se rassemblant dans le voisinage du foyer, elle est plus liquide.

Fourneau à double voûte de Horseley.

Les *fig.* 5 et 6, Pl. III, donnent les dimensions exactes d'un fourneau à double voûte, employé à l'usine de Horseley, près Dudley. On se sert de

briques d'une forme particulière à la jonction des deux voûtes. La *fig.* 7 représente une de ces briques; elles ont 3 pouces 6 lignes d'épaisseur; les autres dimensions sont données par le dessin; les autres briques ont 9 pouces de longueur, 4 pouces 6 lignes de largeur, 2 pouces 6 lignes d'épaisseur.

La cheminée a 45 pieds de hauteur.

Ce fourneau a trois ouvertures : une près de la cheminée pour charger la fonte; elle a 1 pied 11 pouces de hauteur et 2 pieds 1 pouce de largeur; elle est fermée par une porte en briques, bâtie dans un châssis de fonte. La seconde est en face du creux dans lequel la fonte se rassemble; elle sert à nettoyer, à réparer le fourneau et à couler: elle est fermée par un mur de briques pendant l'opération; elle a 3 pieds 4 pouces de hauteur et 1 pied 4 pouces de largeur. Enfin, la troisième porte est celle de la grille: elle a 9 pouces $\frac{1}{2}$ de largeur et 10 pouces $\frac{1}{2}$ de hauteur.

Fourneau à double voûte de Stourbridge.

Nous avons vu, à Stourbridge, des fourneaux à double voûte, dont les dimensions sont à peu près les mêmes que celles du fourneau précédent; la grille est carrée et a 4 pieds ($1^m,22$) de côtés. La longueur du fourneau, du pont à la cheminée, est d'environ 8 pieds ($2^m,44$). La hauteur du pont au dessus de la grille est de 1 pied 8 pouces, et du pont à la voûte de 1 pied 10 pouces, trois fourneaux ont une cheminée commune, de 8 pieds de diamètre à la base et de 80 à 100 pieds (21,37 à 30,46) de hauteur. Cette cheminée est destinée à servir à un plus grand nombre de fourneaux.

Produit, consommation

On peut fondre dans chacun de ces fourneaux

trois tonnes et demie à quatre tonnes de fonte à la fois. On brûle une demi-tonne de houille par tonne de fonte. Le déchet est de 10 pour 100 : on a trouvé, dans la même usine, que la consommation de houille était à peu près la même dans les fourneaux à simple voûte, mais que le déchet était de 12 et demi pour 100. en combustible. Déchet.

On emploie, à Glasgow, des fourneaux à simple voûte, dont la sole est fort inclinée, et au moyen desquels on peut couler jusqu'à dix tonnes de fonte à la fois : les gueuses sont chargées à différentes reprises. En général, la sole a une pente de 18 pouces ($0^m,45$) du pont à la cheminée sur une longueur de 6 pieds 6 pouces ($1^m,98$). La distance du pont à la voûte est de 13 à 14 pouces. Fourneaux à simple voûte, de Glasgow.

La cheminée a 30 pieds ($9^m,15$) de hauteur.

Le travail de la fusion ne présente rien de particulier. Le plus souvent, on a soin de chauffer le fourneau pendant une heure et demie, avant d'introduire la fonte, afin de fritter la sole. Par suite de cette précaution, le déchet est peut-être un peu diminué, la fonte étant moins longtemps exposée au courant qui traverse le fourneau.

On fond environ une tonne de fonte par heure, on consomme une tonne de houille pour fondre la première tonne de fonte, et ensuite le fourneau étant échauffé, une demi-tonne de houille par tonne de fonte.

Nous n'avons pu, en visitant les fonderies de l'Angleterre, nous y arrêter assez de temps pour juger si effectivement tous leurs produits méritaient leur réputation de supériorité sur ceux des usines françaises, et examiner avec soin les méthodes de moulage, nous rattacherons seulement à cet article quelques renseigne-

mens sur un genre de fabrication intéressant que nous avons étudié dans deux fonderies différentes, l'une située à Oldbury, près Birmingham, et l'autre à Glasgow, en Écosse.

Fabrication des pots étamés.

On emploie en Angleterre une poterie de fonte étamée beaucoup plus légère et plus propre que la poterie ordinaire de France. Le procédé de fabrication est des plus simples.

Moulage. Nous n'entrerons pas dans les détails du moulage des pots; ils sont faits avec une fonte très grise, que l'on fond dans des fourneaux à manche : on les coule dans des moules de sable mélangé d'une petite quantité de houille. Les produits sont remarquables par leur peu d'épaisseur.

Recuit. Avant d'être étamés, les pots doivent être d'abord recuits, puis polis intérieurement. L'opération du recuit se fait dans un fourneau ressemblant à un four de verrerie. La grille occupe le milieu du fourneau; son plan est un peu au dessous de deux banquettes latérales, sur lesquelles on dispose les vases contenant les pots à recuire, mélangés avec de la poussière de houille. Ces vases sont sur des chariots, qui consistent en un plateau en briques, construit dans un châssis de fer et porté sur quatre roues de fonte; ils sont introduits dans le fourneau par deux grandes portes, fermées, pendant l'opération, par une maçonnerie en briques enveloppée d'un châssis de fer, et mobile au moyen d'une chaîne passant sur une poulie.

Les vases contenant les pots à recuire sont en fonte; ils ont environ 5 pieds de hauteur et 2 pieds 6 pouces de diamètre à la partie supé-

rieure. Nous ne savons pas le temps que dure une opération.

Moyen d'arrondir les pots déformés.

Un certain nombre de pots ne sortent pas ronds du moulage. Pour leur donner la forme convenable, on les porte au rouge dans un petit fourneau à réverbère; puis on fait entrer dans chacun d'eux, à frottement, au moyen de quelques coups de marteau, un cercle de fer bien rond, ayant le calibre du pot. Ce cercle est fixé à l'extrémité d'un manche, et porte une saillie, qui empêche qu'il n'entre trop profondément dans le pot.

Polissage.

Les pots sont polis extérieurement avec une lime et intérieurement avec des ciseaux : on place le fond du pot dans une boîte de bois, où il n'est maintenu que par le frottement; cette boîte est fixée à un tour, auquel on peut donner un mouvement plus ou moins rapide au moyen d'une lanière de cuir, que l'on fait passer à volonté sur des treuils de différens diamètres. On dispose, en avant du tour, une pièce horizontale en fonte, percée de plusieurs trous. L'ouvrier place à volonté dans l'un quelconque de ces trous une cheville de fer, contre laquelle il appuie le manche du ciseau, avec lequel il polit le fond et les parois du pot.

A Glasgow, au lieu d'employer une boîte de bois, on fixe les pots au moyen de quatre vis de pression, dont les écrous font partie d'un cadre en fonte, recevant le mouvement d'un tour.

Étamage.

L'étamage consiste à chauffer les pots de fonte sur un petit foyer semblable à celui d'un maréchal, à fondre l'étain dans le pot même que l'on veut étamer, à incliner ce pot dans tous les sens,

de manière que l'étain fondu en mouille toutes les parois; puis à frotter ces parois avec un morceau de sel ammoniac, que l'on tient à l'extrémité d'une tenaille: tout cela dure fort peu d'instans. On coule l'excès d'étain dans une autre pièce à étamer, et on plonge de suite dans l'eau le pot qui a reçu l'enduit. L'étain présente alors une sorte de cristallisation : on le polit en le frottant avec un peu de sable fin.

Les pots sont vernis extérieurement.

Machines employées dans les fonderies.

Nous ne nous sommes pas adonnés à une étude spéciale et approfondie de toutes les machines employées dans les fonderies, nous allons seulement tracer une esquisse de celles qui sont le plus communément en usage.

Machines à forer et alléser.

Les machines à alléser peuvent se subdiviser en deux espèces : les unes, dans lesquelles l'axe du cylindre à alléser est horizontal; les autres, dans lesquelles il est vertical.

Machines à allésoirs horizontaux.

Machines à forer et allésoirs horizontaux de Glasgow.

Nous avons vu à Glasgow une machine de la première espèce, qui est très ingénieusement construite; nous n'avons pu nous en procurer les plans, mais en voici la description :

AA', *fig.* 1, Pl. VII, est la section verticale d'un arbre cylindrique d'environ 1 pied de diamètre, et AA', *fig.* 2, la section horizontale du même arbre. Deux cannelures cylindriques, de $1\frac{1}{2}$ pouce

de hauteur environ, s'étendent à la partie supérieure et inférieure de cet arbre, suivant toute sa longueur. Elles sont représentées par les rectangles *ab* et *a'b'*, *fig.* 1 et *ab*, *fig.* 2. Dans l'une et dans l'autre sont placées deux vis, d'environ un pouce de diamètre, représentées, *fig.* 1, par *ef* et *e'f'*, et *fig.* 2 par *ef*.

CC' est un collier en fonte. Soit la *fig.* 3 la section de cette pièce par un plan DD' perpendiculaire à l'axe de l'arbre AA', on voit qu'elle est percée d'une ouverture qui a la forme de la section de cet arbre ; en sorte qu'elle peut aisément s'emmancher dessus ; *ss'* sont des vides d'écrou, dans lesquels passent les vis. Ce collier porte à sa circonférence les ciseaux allésoirs, fixés comme à l'ordinaire.

Soit la *fig.* 4 une section de l'appareil par un plan EE', *fig.* 1, perpendiculaire à l'axe du grand arbre ; *vv'*, *fig.* 1, 2 et 4, sont deux roues enarbrées sur l'axe des vis ; *nn'*, *fig.* 1, 2 et 4, est une grande roue dentée engrenant intérieurement avec les deux vis et extérieurement avec deux autres roues *ll'*, *fig.* 2 et 4.

L'allésoir travaillant, une machine à vapeur communique, en *o*, au grand arbre AA' un mouvement de rotation autour de son axe ; la grande roue dentée *nn'* est maintenue fixe par des crampons *k* et *k'*, *fig.* 1, et les petites roues *vv'*, entraînées par l'arbre, tournent en en parcourant les dents intérieures. De cette manière, les vis elles-mêmes tournent sur leur axe, et la pièce CC', qui forme écrou, parcourt une ligne droite de A' en A ou de A en A'.

Les roues *ll'* servent à amener le collier dans

une position quelconque, à main d'hommes. La machine à vapeur est alors arrêtée. On donne à la grande roue dentée la facilité de tourner autour de son axe, et l'on imprime le mouvement aux roues dans un sens ou dans l'autre, suivant que l'on veut faire avancer ou reculer la pièce des ciseaux.

Le cylindre à alléser est maintenu aussi fixe que possible. MM', *fig.* 1, en représente la section.

Machine de MM. Fairbairn et Lillie à Manchester.

Chez MM. Fairbairn et Lillie, à Manchester, les ciseaux C et C', *fig.* 5, sont attachés à l'arbre A dans une position invariable : celui-ci reçoit en *o* un mouvement de rotation autour de son axe, et c'est le cylindre à alléser qui a le mouvement horizontal de translation.

La roue *o*, à l'aide d'une roue d'angle, imprime le mouvement circulaire à une tige verticale FF', et celle-ci, au moyen d'une vis sans fin *v*, fait tourner une grande vis V, dont l'axe est horizontal. La pièce P, à laquelle est fixé invariablement le cylindre à alléser, forme écrou à la vis, et avance ou recule suivant que celle-ci tourne dans un sens ou dans l'autre.

Machine employée dans une autre fonderie de Manchester.

Dans une autre fabrique de Manchester, on a des allésoirs de différentes espèces, verticaux et horizontaux. Les allésoirs horizontaux sont employés pour les gros cylindres : dans ceux-ci, c'est la pièce des ciseaux qui a le mouvement de translation horizontal. Elle le reçoit, d'après l'ancienne méthode, au moyen de contre-poids agissant par l'intermédiaire de pignons et crémaillères. On prétend que l'on peut ainsi plus aisément modifier le mouvement de translation des

ciseaux, indépendamment du mouvement de rotation de l'arbre, en changeant le contre-poids.

Chez MM. Fawcett et Preston, à Liverpool, on se sert d'allésoirs semblables.

Machine employée chez MM. Fawcett et Preston.

A Lowmoor, on emploie pour l'allésage des gros cylindres des allésoirs horizontaux ; l'arbre est creux intérieurement et traversé, suivant une de ses arêtes, par une fente. Une cheville, passant dans la fente, lie la pièce des ciseaux à un nouvel arbre concentrique au premier et d'un diamètre un peu moindre que celui du creux intérieur : ainsi, l'arbre principal, la pièce des ciseaux et le cylindre intérieur tournent en même temps. L'arbre intérieur a de plus un mouvement de translation horizontal, qui lui est communiqué par un système de contre-poids, à l'aide d'engrenages.

Machine de Lowmoor (Yorkshire).

Enfin, chez M. Robert Stephenson, à Newcastle-sur-Tyne, nous avons vu une machine à allésoir horizontal, dans laquelle le mouvement de translation était communiqué à la pièce des ciseaux par une seule vis. L'arbre, creux intérieurement, était traversé par une fente longitudinale comme celui de la machine Lowmoor, et c'est dans sa partie évidée que la vis, qui lui était concentrique, était placée.

Machine employée chez M. Robert Stephenson, à Newcastle-sur-Tyne.

Nous avons vu des allésoirs horizontaux pour alléser les canons dans les usines de Bowling et à Lowmoor dans le Yorkshire. Ils reçoivent le mouvement de translation horizontal d'un contre-poids, et nous ont paru en tout semblables à ceux qui se trouvent à la fonderie royale de la Chaussade (Nevers) et à la fonderie de Liége.

Machines à forer et alléser les canons de Bowling et Lowmoor.

Il existe chez MM. Fairbairn et Lillie, et dans

Machine à

forer et allé-ser les petits objets employée à Manchester.

une autre fonderie de Manchester, dont nous avons parlé, des allésoirs horizontaux pour de très petits objets, ainsi construits.

Le cylindre à alléser est attaché fermement à une pièce *abcd*, *fig.* 6, qui avance horizontalement; cette pièce porte en dessous un pignon *ef*, engrenant avec une crémaillère *hi*, et enarbré avec une autre roue dentée *ik*, que fait tourner une vis sans fin appartenant à un arbre *ll'*. Cet arbre *ll'* reçoit un mouvement de rotation, par l'intermédiaire d'un système d'engrenage, de l'arbre des ciseaux, qui lui-même est mu par la machine à vapeur.

Force nécessaire pour faire marcher les machines à forer et aléser.

Une machine à vapeur de douze chevaux faisait marcher, chez MM. Fawcett et Preston, l'allésoir pour les gros cylindres dont nous avons parlé et cinq tours pour tourner les gros arbres. Elles peuvent imprimer le mouvement à tous ces appareils à la fois. Nous n'avons pas d'autres données sur la force nécessaire aux allésoirs.

Allésoirs verticaux.

On emploie à l'usine de Bowling, dans le Yorkshire, un allésoir vertical dont la description complète a été donnée dans le *Philosophical Magazine*. Voici comme cet allésoir est conçu :

ABCD, *fig.* 7, est un arbre vertical en fer, susceptible seulement de tourner sur son axe. Les rectangles NN′ sont la coupe de la pièce qui porte les ciseaux. Une rainure rectangulaire, de peu de profondeur, pratiquée suivant la longueur de l'arbre, est destinée à recevoir une petite partie saillante de cette pièce, qui peut donc descendre le long de l'arbre et tourne nécessairement avec lui.

Soit, *fig.* 8, la section horizontale par un plan PP'. Dans une partie de l'épaisseur de la pièce des ciseaux s'étend une fente circulaire *ff'*, *fig.* 7, dont la coupe a été laissée en blanc, *fig.* 8. Deux tiges *t* et *t'*, *fig.* 7, terminant deux crémaillères M et M', traversent cette fente et entrent dans un anneau vide circulaire de plus grand diamètre. Elles portent la pièce des ciseaux au moyen de deux écrous *e* et *e'*, que l'on introduit par une ouverture *mopq*, *fig.* 7 et 8. On voit que, par cette disposition, les deux tiges partagent avec la pièce des ciseaux le mouvement de translation vertical que lui donne la pesanteur, tandis que celle-ci ne les entraîne pas dans son mouvement de rotation.

L'arbre principal ABCD reçoit son mouvement d'une roue horizontale RR' placée à la partie inférieure du même axe.

Les crémaillères engrènent avec des roues dentées placées en K et K', et liées par un arbre horizontal à un système de roues dentées placées en Q. Celles-ci portent un contre-poids P, que l'on augmente ou diminue à volonté, afin de régler l'effet de la pesanteur sur la pièce des allésoirs. On emploie un système d'engrenage au lieu d'un seul treuil, afin de pouvoir se servir d'un contre-poids plus léger.

Machine à allésoir vertical d'une fonderie de Manchester.

Dans une fonderie de Manchester, dont nous avons mentionné précédemment les allésoirs horizontaux destinés à alléser les gros cylindres, on a aussi, pour les cylindres de dimension moyenne, un allésoir vertical. En voici la description :

Une roue dentée A, *fig.* 9, et un plateau B sont portés sur un même axe. Le cylindre à alléser est fermement attaché au plateau B.

La roue A, recevant le mouvement de rotation d'une machine à vapeur, le communique au plateau B et au cylindre à alléser.

Les ciseaux sont fixés à un arbre C. Cet arbre a en même temps un mouvement de révolution autour de son axe et un mouvement de translation vertical. Le premier lui est communiqué par l'intermédiaire d'une tige *ab*, qui agit sur une roue placée dans la partie supérieure, et le second par un pas de vis. L'arbre C et le cylindre à alléser tournent en sens contraire.

Allésoir vertical pour les objets de petites dimensions employé chez MM. Fawcett et Preston.

Chez MM. Fawcett et Preston, on emploie pour les objets de moindre dimension l'allésoir que nous allons décrire.

AB, *fig.* 10, est un arbre attaché par son extrémité supérieure à une crémaillère, indépendamment de laquelle il peut tourner. Cette crémaillère reçoit un mouvement de translation vertical d'un pignon *ab* porté sur un arbre que termine en *f* une roue dentée. Un ouvrier placé en *g* fait marcher, par l'intermédiaire d'un système *f*, cette route dentée, et modère ainsi à volonté la descente des ciseaux. Une rainure *hl h'l'* s'étend suivant une partie de la longueur de l'arbre AB.

En passant une cheville *p* ou *p'* dans une ouverture qui traverse une saillie de la roue C ou C', et l'enfonçant dans la rainure, on fait en sorte que cette roue entraîne l'allésoir dans son mouvement de rotation et ne suive pas elle-même le mouvement de translation vertical de l'arbre AB. C ou C' est soutenue dans un même plan horizontal par une pièce *n* ou *n'*, attachée fermement à un montant fixe de l'appareil, et dans l'intérieur de laquelle l'allésoir peut aussi descendre librement.

A l'extrémité B on ajuste à l'arbre AB l'outil EE′ à l'aide d'une cheville *qq′*. La pièce à alléser est fixée en FF′.

On ne peut pas se servir des deux roues C et C′ à la fois, mais on emploie l'une ou l'autre suivant que l'on désire donner à l'allésoir un mouvement de rotation plus ou moins rapide.

MM′ est un arbre qui reçoit son mouvement immédiatement de la machine à vapeur. N et N′ sont des roues dentées que porte cet arbre.

Les machines à alléser pour de très petits objets sont construites de la même manière ; le mouvement de haut en bas est communiqué à l'arbre des allésoirs, en pressant sur l'extrémité supérieure de cet arbre par l'intermédiaire d'un bras de levier. Quatre de ces petits allésoirs sont disposés symétriquement autour d'une colonne verticale ; ils sont mus deux à deux au moyen de cuirs sans fin, qui passent sur des roues. Quatre becs à gaz sont attachés à la colonne verticale placée au centre et le gaz circule dans l'intérieur de cette colonne, qui est creuse. Machines à forets et allésoirs verticaux pour de très petits objets.

Les machines à allésoirs verticaux offrent cet avantage que la limaille de fonte tombe à mesure qu'elle se produit et que le cylindre à alléser risque moins de se déformer par l'effet de son propre poids, que lorsque l'on se sert de machines à allésoirs horizontaux. On emploie cependant plus généralement pour le forage et l'allésage de gros cylindres les machines à allésoirs horizontaux. Parallèle entre les machines à forer et alléser horizontalement ou verticalement.

Machines à percer des trous dans les plaques épaisses.

La machine suivante est employée dans l'usine

de M. Robert Stephenson, à Newcastle, pour percer des trous dans des plaques épaisses de fer.

ABCD est un cadre susceptible de glisser de haut en bas et de bas en haut dans des rainures pratiquées le long des piliers verticaux AC et BD. On lui imprime le mouvement au moyen d'un levier ou d'une grande roue EF avec pignon et crémaillère.

HIKL est un cylindre avec deux collets HK et H' K', qui le forcent à suivre le cadre, et auquel, d'ailleurs, la tige MN donne un mouvement de rotation auquel le cadre ne participe pas. Cette tige MN, carrée de N' en N, entre dans un trou de mêmes forme et dimensions, percé dans le cylindre HIKL. Celui-ci est terminé par un foret IL.

Sur l'arbre *ab*, qui porte EF, est aussi une roue à rochets.

On a ordinairement deux machines semblables l'une à côté de l'autre, et alors la même roue R imprime le mouvement aux deux roues R' et R''.

Machine à percer les trous dans la tôle pour chaudières.

Enfin, on emploie la machine suivante pour percer les feuilles de tôle qui servent à faire les chaudières de machines à vapeur.

L'emporte-pièce A est fixe. La pièce B, percée d'un trou *b*, est mue de bas en haut par un arbre à cames agissant en *d* sur la tige C et soulève en même temps la feuille de tôle posée sur la surface *ss'*.

Lorsque la plaque est percée, comme elle pourrait être retenue contre la pièce A, la tige D est soulevée, et fait baisser la pince F, mobile autour de E, laquelle fait tomber la feuille de tôle.

Machines à tourner.

Les machines à tourner ordinaires nous ont paru différer peu les unes des autres par leurs dispositions générales; la pièce qui porte les outils reçoit un mouvement de translation horizontal par l'intermédiaire de mécanismes analogues à ceux que l'on emploie pour communiquer un mouvement semblable aux forets ou allésoirs : c'est toujours l'objet à tourner qui a le mouvement de rotation.

Nous ne décrirons qu'une machine à tourner les vis, que nous avons vue dans une usine de Liverpool.

A, *fig.* 11 et 12, est la pièce qui porte l'outil; celui-ci est fixé, comme d'ordinaire, par des vis. B est un écrou sur lequel repose la pièce A; celle-ci, au moyen d'une vis de rappel, est susceptible de glisser dans le sens *ab* ou *ba*, *fig.* 12, sur l'écrou B, afin que l'on puisse à volonté écarter ou rapprocher l'outil de l'objet à tourner. L'écrou B, *fig.* 11 et 12, est traversé par une vis C; à cette vis est enarbrée une roue dentée D; cette roue D engrène avec une roue E portée sur l'axe du tour et la roue E avec une roue F, *fig.* 12; la roue F et une autre roue G sont folles sur l'axe. Un collier HH′ tourne au contraire avec cet arbre; cette pièce porte des dents d, d', d'', d'''. Des saillies correspondantes s, s', s'', s''' se trouvent sur les roues F et G, et l'on peut, en faisant glisser la pièce HH′ sur l'axe, faire participer l'une ou l'autre de ces roues à son mouvement. L'axe, et par conséquent la pièce HH′, tournent toujours dans le même sens. On voit que le tour

prend un mouvement en sens contraire ou dans le même sens, et que l'outil avance ou recule parallèlement à son axe, suivant que c'est la roue F ou G qui est entraînée avec la pièce H H'. On voit également que les roues F et G étant folles, rien ne les empêche de tourner en sens contraire l'une de l'autre.

La pièce B suit un guide *mn*, arrivée à l'extrémité de sa course dans la direction *nm*, elle frappe contre un obstacle *qq*, et le choc se transmet, au moyen de la tige *mn* et d'un bras de levier *mm'*, à la pièce HH' et la pousse contre la roue G, ou du moins lui fait quitter la roue F. Un effet opposé se produit lorsque l'écrou B est arrivé au bout de sa course dans la direction *mn*. Il frappe alors contre un obstacle *rr*.

Le bras de levier se termine en *m'* par une espèce de pince, entre les branches de laquelle le collier HH' tourne librement.

On conçoit que, toutes les roues faisant le même nombre de révolutions par minute, le pas de la vis C doit être le même que celui de la vis à tourner. Les diamètres de ces deux vis devraient être égaux si on voulait que les filets fussent également inclinés.

Cette machine à tourner peut être facilement employée pour tout autre objet que pour des vis.

Fabrication de vis par compression.

On fait aussi de petites vis communes par compression, de la manière suivante :

Dans une pièce A, *fig.* 13, est une cavité *c*, dont le vide est semblable à celui d'un écrou fendu par le milieu; dans une pièce B, est une cavité égale et semblable. Lorsqu'on veut se servir de cet appa-

reil, on lève la pièce B, on couche une tige cylindrique chauffée au rouge blanc dans la cavité de la pièce A ; on pose de nouveau la pièce B sur celle-ci et on applique dessus un fort coup de marteau. On empreint ainsi dans le morceau de fer rond les saillies de la vis.

Machines à vapeur.

Les machines à vapeur que l'on rencontre le plus souvent dans les fonderies et aux environs de Newcastle-sur-Tyne sont des machines à haute pression, celle-ci étant de 25 à 30 livres au dessus de la pression atmosphérique par pouce carré de la soupape de sûreté. **Machines à vapeur à haute pression employées à Newcastle-sur-Tyne.**

Le système le plus communément employé pour conserver le mouvement rectiligne de la tige du piston est le système connu, dans lequel l'extrémité du balancier, à laquelle ne se rattache pas cette tige, décrit un arc de cercle de très grand rayon autour d'un point fixe, auquel elle est liée par une barre inflexible.

A Glasgow, nous n'avons vu que des machines de Watt à la pression de 3 ou 4 livres au dessus de l'atmosphère sur la soupape de sûreté. **Machines à vapeur de Watt employées à Glasgow.**

On conserve le mouvement rectiligne du piston par la méthode ordinaire du rectangle.

A Manchester, on emploie dans plusieurs fonderies des machines de Watt également à la pression de 3 à 4 livres au dessus de l'atmosphère, mais qui ont deux balanciers placés, comme dans les bateaux à vapeur, dans la partie inférieure de la machine. Elles occupent moins de place que les autres. On s'y sert aussi avec avantage de l'appareil connu, pour distribuer uniformément le menu charbon sur la grille. **Machines à vapeur de Watt employées à Manchester.**

Machines employées à Birmingham.

A Birmingham, nous avons vu, à la fonderie dite *Eagle-foundry*, une machine de Watt, dans laquelle on maintenait le mouvement rectiligne comme à Newcastle, et dont on alimentait également le foyer avec de la menue houille, en se servant d'un appareil à peu près semblable à celui que nous venons de citer à Manchester.

Ce sont donc les machines à basse pression de Watt qui sont le plus généralement préférées.

NOTE

Sur la fabrication de l'acier à Sheffield dans le Yorkshire ;

Par MM. COSTE et PERDONNET.

Fabrication de l'acier de cémentation.

L'acier de cémentation est fabriqué, à Sheffield, avec le fer de Suède, par un procédé qui a été décrit (1), et sur les détails duquel nous ne reviendrons pas; nous donnerons seulement la description d'un fourneau de cémentation, dont nous avons pu nous procurer les dimensions exactes.

Les *fig.* 1, 2 et 3, Pl. VIII, montrent la disposition de ce fourneau : il est rectangulaire et couvert par une voûte en arc de cloître; il contient deux caisses C de cémentation, construites en briques (2). Ces caisses ont 2 $\frac{1}{2}$ pieds de largeur, 3 pieds de profondeur et 12 pieds de longueur dans œuvre (mesures anglaises); elles sont placées de part et d'autre de la grille AB, *fig.* 2; celle-ci occupe toute la longueur du fourneau, qui est de 13 à 14 pieds; elle a 14 pouces de largeur et est à 10 ou 12 pouces au-dessous du plan inférieur

Fourneau de cémentation.

(1) Voyez *Bulletin de la Société d'Encouragement* pour 1818, page 115.

Le fourneau décrit dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* diffère, mais seulement dans un petit nombre de parties, de celui dont nous donnons les dessins.

(2) Ces caisses se font aussi quelquefois en grès réfractaire.

des caisses. La hauteur du point culminant de la voûte au dessus des caisses est de 5 pieds 6 pouces. Le fond des caisses est à peu près au niveau du sol, en sorte que l'on n'a pas besoin de lever beaucoup les barres pour les charger dans le fourneau.

La flamme s'élève entre les deux caisses, passe au dessous et circule à l'entour par des trous ou canaux verticaux et horizontaux *d, fig.* 1, 2 et 3; elle sort du fourneau par une ouverture H, percée au centre de la voûte, et par des trous *t*, qui communiquent avec les cheminées placées dans les angles. Quelques fourneaux se font remarquer par un plus grand nombre de cheminées disposées symétriquement autour du massif. Dans d'autres, les parois sont traversées par des espèces d'évent, que l'on ferme pendant le chauffage et que l'on ouvre à l'époque du refroidissement.

Tout le fourneau est placé dans un vaste cône en briques de 25 ou 30 pieds de hauteur, ouvert à la partie supérieure. Ce cône augmente le tirage, le régularise, et conduit la fumée hors de l'établissement.

Le fourneau a trois portes: deux, T, *fig.* 2, au dessus des caisses, servent à entrer et sortir les barres; elles ont 7 ou 8 pouces carrés. On place dans chacune d'elles un morceau de tôle plié sur les bords, sur lequel les barres glissent sans dégrader le mur. Un ouvrier entre par la porte du milieu P, pour arranger les barres : enfin, c'est par les trous S, *fig.* 1, pratiqués dans les parois des caisses, que l'on retire les barres d'essai.

Opération.

Les barres sont rangées par lits, avec du charbon de bois en poudre, dans les caisses de cémentation. Elles ont environ 3 pouces de largeur

sur 4 lignes d'épaisseur. On ne doit pas trop les rapprocher les unes des autres, afin qu'elles ne se soudent pas ensemble. La dernière couche, avec laquelle on achève de remplir la caisse, est formée d'argile et a 4 ou 5 pouces de hauteur.

On chauffe le fourneau graduellement; la plus grande chaleur n'a lieu qu'après huit ou neuf jours. Le refroidissement, qui doit être progressif, dure cinq à six jours, et l'opération dix-huit à vingt jours, quelquefois même davantage, suivant la qualité de l'acier que l'on veut fabriquer. On consomme, dans ce temps, environ treize tonnes de houille.

Fabrication de l'acier fondu.

L'acier fondu se fait avec l'acier cémenté; on casse celui-ci en morceaux et on met ces morceaux dans un creuset d'argile, que l'on chauffe dans un fourneau à vent ordinaire. Ce fourneau a 1 pied ou 14 pouces de côté et 2 pieds de profondeur. On le ferme à sa partie supérieure avec un plateau formé de briques serrées dans un cadre de fer.

On construit ordinairement plusieurs de ces fourneaux le long d'un mur, contre lequel s'élève une grande cheminée. Leur partie supérieure est au niveau du sol, et ils ont pour cendrier commun une grande cave d'environ 10 pieds de hauteur.

Les creusets sont en argile réfractaire; ils ont 16 ou 18 pouces de profondeur et 5 pouces de diamètre. On y fond environ 40 livres d'acier en cinq heures. Lorsque l'acier est fondu, il remplit un peu plus de la moitié du creuset; les creusets sont simplement fermés avec un cou-

vercle plat en argile; ils ne peuvent pas servir à plus de trois opérations.

On ne brûle que du coke pesant; aussi préfère-t-on celui qui a été fabriqué dans les fours; nous n'en connaissons pas la consommation.

On coule l'acier sous forme d'une barre carrée; on tient le moule verticalement pendant la coulée, et aussitôt qu'elle est finie, un ouvrier place un poids en fer, qui empêche le métal fondu de sortir de la lingotière par bouillonnement, mais n'est pas assez lourd pour en augmenter beaucoup la densité.

Puddlage à l'anthracite (1), *exécuté à Vizille* (*Isère*) *en* 1828 ;

Par M. ROBIN, Directeur de l'usine.

Les nombreux essais faits à la fonderie de Vizille, créée pour utiliser l'anthracite de Lamure dans le traitement des minérais de fer spathique qui se trouvent dans le voisinage de l'établissement, amenèrent à ces résultats jusqu'alors inconnus, que la fonte peut être obtenue, mais avec des difficultés extrêmes, seulement au moyen du combustible en question ; qu'employé dans la proportion de 7 parties contre 3 de coke, un

(1) On n'avait point encore tenté un semblable emploi de l'anthracite ; nous voyons seulement que M. Roche, directeur des manufactures royales de Crans, près d'Annecy, a cherché à remplacer la houille de bonne qualité qui lui manquait pour faire le puddlage de la fonte, par le charbon de bois et le mélange de charbon et de bois. Voici ce qu'on lit dans la *Correspondance des Élèves-Mineurs de Saint-Étienne*, n°. 1, p. 61.

1re. expérience. — *Avec le charbon de bois*.

Sans vent, l'opération est impraticable. J'ai essayé le vent des trompes, et préalablement intercepté le courant d'air qui a lieu sous la grille, au moyen d'une couche d'anthracite qui se vitrifie en partie, en laissant un résidu considérable.

Les buses, au nombre de trois, reposaient sur la plaque de fonte supportant le mur où prend naissance la voûte du cendrier ; j'avais disposé les deux extrêmes de manière à diriger le vent plutôt au centre du foyer que sur les murs latéraux ; il était lancé parallèlement à l'axe du pont.

Il se dégage beaucoup plus de flamme que dans le tra-

haut-fourneau peut marcher très régulièrement.

Il est à regretter que l'économie n'ait pas répondu à ce dernier résultat scientifique : à cause de la lenteur avec laquelle brûle l'anthracite, il fut reconnu qu'il y a plus d'avantage à employer les combustibles à parties égales.

Les fontes obtenues avec les différentes proportions d'anthracite ont toujours été d'excellente qualité, ce qui doit surprendre d'autant plus que le combustible employé sans préparation, tel qu'il sortait de la carrière, était toujours chargé d'une grande quantité de pyrites. Néan-

---

vail ordinaire; le fer est meilleur que par le traitement à la houille; il est à remarquer que la fonte n'est pas aussi liquide que par ce dernier procédé; elle se soutient plus long-temps en sable, et exige beaucoup moins d'eau pour se réduire. J'ai employé, dans ce travail, 1,100 kilogr. de fonte par 1,000 kilog. de fer puddlé et 4,50 mètres cubes de charbon de bois.

2e. expérience. — *Avec charbon et bois.*

Charbon consommé 2 mètr. cub., et bois 1 mèt. cub.,50. L'opération s'est comportée comme la précédente.

3e. expérience. — *Avec le bois seul.*

Fonte employée, 1,100 kilog.
Bois consommé, 3,50 mètres cub.

La fonte se réduit fort lentement, la qualité du fer est moindre; il paraît que la chaleur développée n'est pas suffisante. Cependant, l'auteur croit qu'en modifiant les dimensions du fourneau de la manière qu'il l'indique, on parviendrait à obtenir de bon fer; il ne dit point qu'on ait fait sécher artificiellement le bois.

Ces résultats, réunis à ceux publiés dans les *Annales des Mines*, et récemment, tome V, p. 177, sur l'emploi de la tourbe au fourneau puddling, forment un ensemble de la presque totalité des essais entrepris pour appliquer les divers combustibles usuels à l'affinage de la fonte au four à réverbère. A. G.

moins leur cherté résultant du transport du coke, pris à Rive-de-Gier, c'est à dire à 28 lieues de Vizille, les empêchait d'être vendues avec avantage aux forges montées sur de grandes échelles, qui seules pouvaient assurer leur écoulement.

Les fontes grises, reconnues excellentes pour le moulage de seconde fusion, rivalisèrent, sous ce rapport, avec les meilleures fontes de Bourgogne et de Franche-Comté obtenues avec du charbon de bois, mais trop coûteuses, parce qu'elles ne peuvent être produites qu'avec un excès de combustible, il ne fut pas possible de les vendre brutes avec avantage. D'un autre côté, il ne fallut pas songer à les employer à Vizille, qui, par sa position, n'offre pas suffisamment d'élémens pour la prospérité d'un atelier de moulage.

Une fabrication de fer parut être le seul moyen d'assurer l'existence de l'établissement; mais on devait nécessairement la baser sur l'emploi de l'anthracite, pour ne pas éprouver, à cause du transport de la houille, le même inconvénient qu'avec le coke dans la production de la fonte.

Le mode du travail à suivre était indiqué par le peu de succès obtenu jusqu'aujourd'hui dans les essais faits pour affiner les fontes en contact avec des combustibles minéraux. On adopta par conséquent l'emploi du fourneau à réverbère, quoiqu'il ne fût pas possible de se dissimuler les difficultés que l'on devait rencontrer dans le chauffage avec un charbon aussi dense, par conséquent aussi difficilement combustible que l'anthracite. On devait s'attendre à ne pas élever suffisamment la température en employant le tirage naturel : l'expérience avait déjà appris, dans

le département des Hautes-Alpes, que même, pour le traitement des minérais de cuivre au four à réverbère, un courant d'air forcé était nécessaire.

Avant de commencer les essais avec l'anthracite, il était important de savoir de quelle manière les fontes de Vizille se comportent lorsqu'on les affine avec la houille, afin de pouvoir comparer les résultats des deux procédés.

On opère donc d'abord le puddlage d'après les procédés connus, et cela dans un four construit, à quelques légères modifications près, sur les plans de celui des fours de l'usine de Terre-Noire, qui a donné le plus d'avantage. (V. Pl. IV, *fig.* 1 et 2.) Nous en indiquerons, à cause de cela, les dimensions principales, ses formes secondaires ne s'écartant pas de celles ordinaires.

La longueur de la grille, dans le sens de celle du four, est de 3 pieds, sa largeur de 3 pieds 2 pouces.

Le seuil du tisard est à 1 pied 1 pouce au dessus de la grille.

La hauteur du pont, au dessus de la grille, est de 1 pied 6 pouces; la largeur, de 9 pouces.

La sole en fonte, de 5 pouces d'épaisseur, se trouve à 1 pied au dessous du pont; sa longueur, jusqu'à l'autel, est de 5 pieds. La plus grande largeur de la sole vis à vis la porte de travail est de 4 pieds 3 pouces.

La porte de travail est à 8 pouces au dessus de la sole et à 2 pieds 9 pouces au dessus du sol.

La hauteur de l'autel est de 6 pouces; sa largeur, de 5 pouces.

La longueur du rampant, y compris l'autel et l'ouverture de la cheminée, égale 3 pieds 5 pou-

ces; sa hauteur et sa largeur, à son ouverture, sont de 11 pouces.

La plus grande hauteur de la voûte se trouve près du pont; elle y est de 26 pouces et baisse graduellement jusqu'à la couronne, qui est à 3 pouces au dessous du seuil de la porte de travail.

La largeur du bas de la cheminée, égale à celle du rampant, est de 11 pouces à 2 pieds au dessus du bas de la couronne; elle prend 16 pouces et conserve cette largeur jusqu'au registre, c'est à dire à une hauteur de 27 pieds. La dimension de la cheminée, dans le sens du rampant, est de 15 pouces sur toute la hauteur de la couronne égale à 9 pouces. Au dessus de la couronne, elle prend 16 pouces, et conserve cette dimension jusqu'au haut de la cheminée.

On fit dans ce four huit chaudes, savoir : les trois premières sur de la fonte blanche; mais on ne compta pas sur leurs résultats, parce qu'elles eurent pour objet de former une sole en scories et de mettre le four en allure. Des cinq autres chaudes, deux furent faites sur de la fonte grise, deux sur de la fonte truitée et une sur de la fonte blanche.

Essais faits en employant la houille de Rive-de-Gier.

On passa chaque fois 175 kilogrammes de fonte; on retira cinq boules, que l'on cingla sous un mouton du poids de 386 kilogrammes.

Les masseaux de fonte grise pesèrent, moyennement, 149 kilogrammes, ceux de fonte truitée 151, ceux de fonte blanche 139; c'est à dire que 100 kilogrammes de ces diverses espèces de fontes rendirent 85, 86, 79 de fer brut.

Une partie du fer provenant de la fonte blanche n'ayant pas pu être arrachée du four, il ne faut compter que sur l'exactitude des deux pre-

miers nombres. Ils indiquent des résultats avantageux; et, en effet, on ne pouvait pas en attendre plus en opérant sur des fontes non finées, et surtout dans un four neuf. On pourrait penser que si on avait employé un moyen plus parfait pour cingler les boules, le déchet aurait été plus fort; mais on a reconnu, en étirant les masseaux en fer marchand dans un martinet du voisinage, que non seulement il ne dépassait par 12 à 14 pour 100 pendant cette opération; mais, en outre, que les fers étaient d'excellente qualité. Ce dernier résultat est d'autant plus remarquable que le puddlage avait eu lieu sur des fontes obtenues avec sept parties d'anthracite contre trois de coke. Il est certain également que la perte, à la fin du puddlage, a été grande, puisque le fer, dégagé de carbone et présentant une grande surface à l'action de l'air, se brûlait rapidement pendant la manœuvre du mouton, qui durait 25 à 30 minutes pour une chaude.

Le temps mis à l'affinage, depuis le chargement de la fonte jusqu'à la sortie de la première boule, a été d'une heure 55 minutes pour la fonte grise, 1 h. + 40^{m}. pour la fonte truitée, et 1 h. + 25^{m}. pour la fonte blanche.

Pour les cinq dernières chaudes, composées de 775 kilogrammes de fonte, on a brûlé 722 kilogrammes de houille seulement, et cela pendant 8 h. + 39 minutes, ce qui suppose 2003 kilogrammes employés pendant 24 heures.

Le four a été parfaitement entretenu avec cette faible quantité de charbon; résultat qui peut être attribué en partie à l'emploi d'une houille de première qualité, en partie aux bonnes dimensions du four. Il est cependant probable que

celles-ci, une fois altérées par un travail de plusieurs jours, l'on n'aurait plus marché avec le même avantage.

Il a été reconnu pendant ces essais, auxquels on s'est borné, que les fontes de Vizille se laissent travailler avec une grande facilité; les puddleurs en étaient plus contens que d'aucune des fontes brutes de Bourgogne et de Franche-Comté qu'ils avaient eues à traiter dans les usines de la Loire. Les fontes blanches surtout se réduisaient presque instantanément, ce qui doit être attribué en grande partie à une espèce de demi-finage qu'elles subissaient pendant leur séjour dans le creuset du haut-fourneau ; elles s'y trouvaient soumises à l'action d'un vent violent, qui mettait le bain à nu en chassant les laitiers devant lui.

Essais faits avec l'anthracite.

Après ces essais, on passa à ceux sur l'anthracite, et, sans faire de modifications au four, on chargea sa grille, après qu'il eut été refroidi, avec de l'anthracite en morceaux de la grosseur du poing. Elle s'alluma si doucement, que sa combustion ne fut active qu'après deux heures, et encore la température ne put-elle pas être portée au delà du rouge naissant. La flamme gagna à peine le milieu du four, et une demi-heure plus tard, lorsque les charbons étaient brûlés à leur surface, elle ne passa même pas le pont et l'intérieur du four devint sombre. On ne changea pas sensiblement cet état en piquant la grille.

Les mêmes tentatives, répétées sur des anthracites tirées de différentes mines des environs de Lamure, et réputées pour être plus tendres que la première employée, ne conduisirent pas à de

meilleurs résultats : alors on disposa le foyer pour y appliquer un courant d'air forcé.

On ménagea sur la partie postérieure du four, et à six pouces au dessus de la grille, trois tuyères, espacées d'un pied, dirigées dans le sens de la longueur du four et inclinées de 10 degrés ; trois autres tuyères furent placées au dessus des premières ; mais, à 22 pouces de la grille, on leur donna 45 degrés d'inclinaison pour faire frapper le vent à la surface des charbons dans le premier tiers du foyer. Cette dernière disposition pouvait ne pas convenir pour la fin de l'opération du puddlage, puisqu'une certaine quantité d'air pouvait échapper à la combustion et favoriser l'oxidation du fer; cependant elle devait contribuer à faire connaître le meilleur mode d'application du vent.

On souffla d'abord, par les trois tuyères d'en bas, avec des buses de $0^m,023$ (10 lignes) d'œil et une pression de mercure égale à $0^m,055$.

Le four devint rouge après une heure et un quart; il ne fut pas possible de porter la température plus haut, elle baissa même chaque fois que l'on chargea de nouveaux charbons, et cela à cause de la lenteur avec laquelle ils s'allument. La houille ne présente pas cet inconvénient, elle brûle et chauffe instantanément.

La chaleur du foyer fut cependant très intense, mais seulement dans le voisinage des points d'application du vent. Sur la moitié de la grille, près du pont, les charbons n'éprouvaient pas l'action de l'air, qui ne pouvait traverser leur masse, en grande partie réduite en poussière par la décrépitation. Il était évident, d'après cela, qu'une

grille moins large pouvait donner les mêmes résultats et devait en outre présenter un autre avantage, celui de porter les tuyères vers le rampant, que la flamme n'atteignait que difficilement.

C'est à la grande déperdition du calorique par la grille que l'on a attribué en partie la difficulté que l'on a éprouvée pour élever la température. Outre la flamme, qui était chassée avec force à travers les barreaux, ceux-ci brûlaient rapidement. Un dernier inconvénient était attaché à l'emploi d'une grille : comme, après quelques instans, les plus gros morceaux d'anthracite étaient réduits en petits fragmens et en poussière, on en perdait une grande quantité lorsqu'on piquait le foyer. Pour remédier à ces inconvéniens, il fallut se résoudre à opérer avec un foyer fermé.

En soufflant par les tuyères d'en haut, on parvint à porter le four presqu'au blanc ; mais l'agitation fut si grande dans le foyer, qu'en fort peu de temps les paillettes de charbon et les cendres, entraînées par le vent, formèrent des couches épaisses sur la sole. Cet inconvénient, bien moins marqué en employant les tuyères inférieures, l'était encore tellement, que l'on eut, dès cet instant et avec raison, lieu de le craindre pour l'opération du puddlage ; n'ayant jamais pu être évité entièrement, c'est en effet lui qui s'est opposé puissamment au succès des opérations en salissant le fer.

D'après le dernier essai, il était évident que l'on chauffait le plus fortement avec le soufflage par en haut, on remarqua que plus la couche de charbon au dessus des tuyères était épaisse, plus

la température du four baissait. De nombreuses expériences, faites postérieurement, prouvèrent qu'il y a le plus d'avantage à ne donner à cette couche que 6 pouces environ ; on pouvait l'augmenter en élevant la pression de l'air, mais on n'en retirait aucun avantage, puisqu'on favorisait ainsi la projection des poussières. Cet effet ne peut s'expliquer que par la difficulté que les charbons opposent à l'arrivée de l'air dans le foyer.

Les nouvelles modifications du four furent les suivantes :

Le pont, dont l'épaisseur était de 10 pouces, a été réduit à ne plus en avoir que 5.

La largeur du foyer, primitivement de 3 pieds, fut réduite à 2 pieds, en sorte que les tuyères furent rapprochées de 17 pouces du rampant.

A la place des barreaux de grille on mit des plaques en fonte.

Entre ces plaques et la marâtre supportant la face des tuyères, on ménagea, sur toute la largeur du foyer, une ouverture de 5 pouces de hauteur, destinée à l'enlèvement des crasses et pouvant se fermer avec quelques briques.

Afin de rapprocher, autant que possible, le point de plus grande chaleur du rampant, on plaça les tuyères à 1 pied au dessus des plaques.

Avec ces changemens et un vent de $0^{m},08$ de pression avec les mêmes buses de $0^{m},023$, on porta, en moins de trois heures, le four au blanc. La température se soutint parfaitement pendant neuf heures ; mais, après cette époque, il fut nécessaire de nettoyer le foyer. Cette opération, faite pour la première fois, dura assez longtemps et causa un grand refroidissement, parce

qu'on fut obligé d'arrêter la soufflerie ; mais, par la suite, elle ne demanda qu'une demi-heure, y compris le temps nécessaire pour rétablir la chaleur. La nature même du charbon contribuait à la faciliter : pénétré de schistes assez réfractaires, ceux-ci entraient en fusion autour des tuyères, seulement, y formaient des masses, que l'on détachait en passant un ringard, soit par le tisard, soit par trois petites ouvertures ménagées dans la voûte immédiatement au dessus des tuyères.

Quatorze heures après la mise du vent, le four se trouva assez préparé et reçut successivement trois chaudes ; l'une de fonte blanche, la seconde de fonte truitée, la troisième de fonte grise, dont les durées dépassèrent celles des fontes de même nature affinées avec la houille de 38′, 58′, 56.

Ces résultats défavorables ont été attribués principalement à la présence des poussières d'anthracite, dont l'effet était de neutraliser en partie les propriétés de l'eau et des battitures de cinglard ajoutées à la chaude comme réductifs.

Dans des opérations faites plus tard, il est quelquefois arrivé qu'après cinq heures d'un travail opiniâtre le fer n'avait pas encore pris nature, et qu'on fut obligé de retirer, avec un râble, la chaude à l'état de grumeaux, que l'on n'avait pas pu réunir en boules.

D'un autre côté on n'était pas encore parvenu à donner au four la chaleur désirable ; elle fut suffisante pour le puddlage, mais non pour la fusion de la fonte, qui s'opérait très lentement, et pour le coup de feu à donner aux boules avant leur sortie du four. Cela résultait de la disposition de quelques-unes de ses parties, qui n'é-

taient pas appropriées à la manière d'activer la combustion. On remarqua surtout que la flamme gagnait et traversait le rampant avec beaucoup de vitesse sans battre convenablement le travail, et qu'elle restait attachée à la voûte, en laissant entre elle et la sole, dans la moitié du four près du pont, qui chauffe ordinairement le plus, un espace presque égal à la hauteur du pont. Il était donc évident qu'un rétrécissement du rampant devait être avantageux et que la voûte était trop haute.

En outre, les tuyères qui ne se trouvaient qu'à 8 pouces au dessus du pont jetaient, dans certaines circonstances, sur la sole, outre les poussières d'anthracite et les cendres, des quantités assez grandes de paillettes de charbon. Dans des modifications, qui furent, à deux reprises différentes, faites au four, on les porta, à cause de cela, à 2 pieds 2 pouces au dessous du pont. On ne laissa entre elles et la plaque de fond que 6 pouces.

Quant au rampant, il fut réduit à n'avoir que 8 pouces de hauteur sur 9 pouces de largeur.

La voûte fut surbaissée de 4 pouces, et pour concentrer davantage la chaleur, on rapprocha aussi de 4 pouces les parois latérales du travail.

Le four, ainsi modifié pour la dernière fois, et représenté par le plan et la coupe ci-joints, chauffa, aussi bien qu'il était possible de le désirer, avec trois buses de $0^{m},027$ et une hauteur de manomètre marquée par $0^{m},07$. Des buses plus grandes ou plus petites, avec d'autres pressions, ne donnèrent pas de résultats plus avantageux, soit pour le chauffage, soit pour éviter la difficulté que l'on éprouvait à se préserver des poussières.

Il est remarquable que l'anthracite, qui brûle presque sans flamme dans les circonstances ordinaires, en a produit une si forte avec la soufflerie, qu'elle se présentait au haut de la cheminée aussi belle qu'avec la houille; elle se distinguait de la flamme de cette dernière en ce qu'elle n'était accompagnée d'aucune fumée et ressemblait à la flamme de l'alcool.

On est arrivé à ne mettre, pour le puddlage à l'anthracite des fontes truitées et grises, que 20 à 25 minutes de plus que pour celui à la houille. Un résultat plus satisfaisant ne pouvait pas être obtenu : le four était chauffé même plus fortement qu'avec la houille; mais les opérations se prolongèrent un peu, à cause de l'action des poussières de charbon, que l'on était à la vérité parvenu à diminuer en baissant beaucoup les tuyères, mais qui furent encore très abondantes surtout après les décrassages; seulement, deux à trois heures après ces opérations, il était possible de compter sur trois bonnes chaudes; l'agitation dans le foyer, occasioné par la libre action de l'air, cessait lorsqu'il s'était formé dans le voisinage des tuyères une certaine quantité de scories, qui, par leur disposition, divisaient les jets d'air; mais il fallait, toutes les dix heures environ, lorsque les crasses étaient trop abondantes, en repasser par le même inconvénient. On réussissait à marcher régulièrement de suite après le décrassage, en jetant au dessus des tuyères quelques morceaux de crasses de foyer; néanmoins le succès de cette manœuvre n'était pas toujours certain. Les poussières très fines, qu'il est dans tous les cas impossible d'éviter, agirent encore

très nuisiblement, même lorsque les opérations marchèrent le mieux.

On pensa que l'on éviterait l'agitation du charbon en soufflant avec un plus grand nombre de tuyères de moindre œil, mais plus rapprochées les unes des autres. La tentative que l'on fit ne conduisit à aucun succès : lorsque les tuyères étaient distantes de 9 pouces, les deux jets d'air voisins se réunissaient en un seul et agissaient avec beaucoup de violence.

Pendant la dernière série d'opérations, le four a brûlé, en cent neuf heures, 8220 kilogr. d'anthracite, ou bien 1717 kilog. pendant vingt-quatre heures ; tandis qu'il a fallu 2003k. de houille. Cet avantage tient à ce qu'une perte de ce dernier combustible a toujours lieu à travers les barreaux de la grille.

Il est à remarquer que l'on a chauffé presque continuellement avec des charbons de la grosseur d'une noix environ, qui avaient été rebutés comme trop petits lors des triages d'anthracite pour le haut-fourneau, leur emploi au four à puddler devait par conséquent donner une grande économie à l'établissement. On trouva qu'ils pouvaient être employés aussi bien que les gros charbons, qui, ainsi qu'on l'a déjà dit, se réduisent en petits fragmens à la première impression du feu, effet inévitable qui doit être attribué en partie à l'humidité, mais principalement, à ce qu'on pense, à une dilatation inégale de la masse serrée du charbon. Ce qui paraît venir à l'appui de cette dernière manière de voir la chose, c'est que même l'anthracite que l'on mettait pour boucher le tisard décrépitait très fortement et se réduisait en esquilles lorsqu'on la

poussait dans le foyer. Dans toutes ces opérations, on a, du reste, employé un charbon sec, qui avait séjourné pendant une année sous le hangar. L'anthracite, chargée au gueulard du haut-fourneau, ne décrépitait pas, à beaucoup près, aussi fortement que dans le foyer du four à puddler, où une chaleur vive agissait instantanément sur elle.

Les chaudes à l'anthracite, formées aussi de 175 kil. de fonte, rendirent, moyennement, 83,5 pour 100 de fer en masseaux, c'est à dire, à 2 pour 100 près, autant que les fers à la houille.

Pour la qualité des fers à l'anthracite, elle fut très variable; ceux provenant des meilleures chaudes se rapprochaient beaucoup des fers à la houille; mais aucun masseau, étiré au moyen du charbon de bois, ne donna des fers sans discontinuités. Des morceaux de barres, pris individuellement, étaient aussi parfaits que les fers à la houille; ils présentaient le même nerf et résistaient aux mêmes épreuves : du reste, les fers se séparaient ou se gerçaient très facilement à la couleur. Cette propriété ne doit être attribuée qu'aux poussières interposées entre les molécules de fer, puisque celui à la houille en était exempt; elle donne de nouvelles notions sur les causes qui tendent à rendre les fers cassans à chaud. Ce n'est pas au soufre qu'il faut l'attribuer; il passait en grande quantité à l'état d'acide sulfureux sur le fer, mais il était ainsi sans action. Une recherche analytique, faite sur 50 grammes, n'en fit d'ailleurs découvrir aucune trace; mais, par contre, on trouva dans un fer à l'anthracite, de qualité moyenne, 0,79 pour 100 de silice et 0,08 d'alumine, tandis qu'un fer à la houille ne donne que 0,46 de silice et 0,02 d'alumine. Les fers au char-

bon de bois sont purs : ces résultats se rapportent parfaitement avec les analyses des cendres des combustibles qui avaient été faites antérieurement.

Le cuivre, qui est également signalé comme un des corps qui donnent des fers de couleur, a aussi été recherché, parce qu'il accompagne ordinairement la pyrite de fer qu'on rencontre dans les fers spathiques, mais surtout dans l'anthracite : il n'en a pas été trouvé d'indice.

Il paraît donc prouvé que les fers obtenus avec l'anthracite sont bien plus mauvais que ceux à la houille, parce qu'ils renferment plus de matières impures. Il est certain aussi que l'entraînement des poussières ne peut pas être évité. Le puddlage à l'anthracite ne répond donc pas à l'une des premières conditions qu'on exigeait de lui, celle de donner des produits livrables au commerce ; il est donc impossible.

Un dernier essai a été fait, à Vizille, au four à puddler, sur les fers obtenus avec la houille ; il a servi à constater que la température que développe l'anthracite est plus que suffisante pour le soudage des trousses ; il n'a fallu que 20 minutes pour les ramollir. En outre, une bande de fer d'excellente qualité, exposée pendant deux heures et un quart aux vapeurs anthraciteuses, n'avait pas acquis le moindre défaut. On pensa, en conséquence, qu'il serait possible d'établir une fabrication mixte, c'est à dire un puddlage à la houille et un étirage à l'anthracite ; mais les fers ainsi obtenus n'auraient pas pu, au moment où les essais se faisaient et où les prix des fers étaient très bas, soutenir la concurrence avec les fers fabriqués d'après les méthodes anglaises. (Les fers marchands seraient revenus à 45 fr. les 100 kil.)

Sur le traitement direct des minérais de fer;

Par M. MOISSON-DESROCHES, Ingénieur des Mines (1);

Après avoir attendu inutilement plus d'une année des objections à mes *Réflexions sur le traitement direct des minérais de fer*, réflexions insérées dans le *Propagateur aveyronnais* du mois d'avril 1827, il est peut-être nécessaire d'exposer aujourd'hui ce traitement tel que je le conçois.

D'après M. Magnus, un courant de gaz hydrogène réduit l'oxide de fer à la température de 350 degrés centigrades. Puisque la combustion du charbon n'a lieu qu'à 428 degrés, il est probable que ce combustible ne réduira l'oxide qu'à

(1) L'importance du sujet traité par M. l'ingénieur Desroches, dans cet article, extrait du *Propagateur aveyronnais*; les essais qui peuvent être provoqués par les divers changemens que cet ingénieur a proposé d'introduire dans la fabrication du fer forgé, et les avantages qu'il en promet, nous ont engagés à faire connaître ses vues, sans nous dissimuler les objections dont elles sont susceptibles et les incertitudes qui restent sur le succès de plusieurs des opérations indiquées. Nous rappellerons, à cette occasion, que diverses tentatives ont déjà été faites pour traiter les minérais de fer dans le fourneau à réverbère, par M. Mushet en Angleterre, par M. Frèrejean à Lyon, et peut-être par l'auteur du fourneau représenté dans le tome VIII, page 195 des *Annales des Mines*; enfin, par M. le comte de Vanderbruk dans le pays de Saarbruck (*Annales des Mines*, 2e. série, tome III, page 73), sans qu'on soit parvenu à des résultats satisfaisans.

(*Note des Rédacteurs.*)

cette température. Il faut, en général, 5000 degrés de chaleur pour vitrifier les gangues, 6000 pour carburer le fer et 7000 pour le souder; il y a donc plus de 4000 degrés entre la désoxidation par le charbon et la fusion des gangues, et seulement 2000 entre cette dernière et le soudage du fer : de là la possibilité de construire deux appareils communiquant entre eux, l'un maintenu au dessous de 1000 degrés centigrades et au dessus de 428, où le minérai mêlé au charbon se réduirait sans se fondre; l'autre à 7000 degrés, où un bain de laitier fluide recevrait le minérai désoxidé. Les gangues alors se vitrifieraient : le fer réduit, précipité au fond du bain et séparé ainsi du charbon en excès, ne pourrait pas se carburer, on le rassemblerait, le pétrirait pour en faire une loupe dont il serait possible de faire un masset, qu'on laminerait ensuite par la méthode anglaise.

Afin d'éviter le grave inconvénient d'être tout à fait à la disposition du fondeur, l'appareil ne serait pas à courant d'air forcé. On sait que, dans ce dernier, les résultats dépendent de la pression du vent, de sa direction et de la manœuvre du fondeur dans le fourneau. S'il faut bien laisser à cet ouvrier le moyen d'exercer son intelligence, il serait imprudent de l'obliger à la porter sur trop de points à la fois : diviser le travail, c'est le simplifier, assurer la qualité et la constance des produits, se procurer le moyen de former, en très peu de temps, des ouvriers capables, et s'éviter, par suite, des mutineries et les chômages ruineux qui en sont la suite.

Le four à puddler, où les terres se vitrifient et le soudage du fer s'opère si bien, doit remplir

notre objet. En y pratiquant un bassin de réception, obligeant la flamme à passer successivement dans deux ou trois autres fours destinés à la réduction et au grillage du minérai, on aura une idée de cet appareil, terminé, comme on le pense bien, par une cheminée verticale d'environ 12 mètres de hauteur.

Sur une même droite, qui serait l'axe des fours, on établirait la communication d'un four à l'autre; l'ouverture de chargement de celui de grillage serait sur l'axe même; ce qui permettrait de pousser le minérai grillé dans le second four, sur la sole duquel on aurait mis une couche de coke, et l'on recouvrirait le minérai étendu sur cette couche d'une autre du même combustible. Cet étendage s'exécuterait par une porte latérale, qui permettrait de pousser le minérai réduit dans le four à puddler, où il se fritterait; et par la porte latérale de ce dernier le fondeur le plongerait, en temps convenable, dans le bain de laitier; puis il l'en sortirait, à l'état pâteux, pour le pétrir et en former une loupe. L'autel servirait à cet usage. Cette loupe, portée aux cylindres dégrossisseurs, serait ensuite réchauffée sur l'autel à l'état de masset, et ce dernier passerait enfin entre les cylindres finisseurs qui l'étiraient en barre. Un puddleur et son aide suffiraient probablement à ce travail, moins pénible que le puddlage actuel.

On armerait d'un tiroir, appelé registre, la communication du four de grillage et de la cheminée, et un autre tuyau armé aussi d'un registre établirait une communication directe entre cette cheminée et le four à puddler : en fermant le premier registre, ouvrant le second, on obtien-

drait dans ce four à puddler le fort coup de feu nécessaire à la confection de la loupe, sans que, dans le four de réduction, où le courant de chaleur n'aurait plus lieu, on eût à redouter la vitrification des gangues avant la complète désoxidation du minérai. Ces registres, convenablement manœuvrés, maintiendraient ce four de réduction à la température désirée.

Les meilleures dimensions à donner à tout cet appareil ne peuvent se déterminer que par l'expérience; mais il conviendra toujours d'en accoler deux ensemble: on perdra moins de chaleur, et on fera quelques économies sur les constructions; car ces appareils auront un mur mitoyen, et un seul massif de maçonnerie suffira aux deux cheminées.

Les soles des fours de grillage et de réduction peuvent être en fonte de fer, puisque celle-ci ne se liquéfie qu'à 9850 degrés centigrades; mais il faudra, pour plus de sûreté, exécuter en terre réfractaire la sole et le bassin de réception du four à puddler : si on les faisait en brasque de charbon, on risquerait d'avoir, au lieu de fer doux, du fer aciéreux.

Puisque, dans quelque appareil que ce soit, il faut toujours réduire d'abord l'oxide et fondre ensuite les langues, on voit que cet appareil n'est pas moins propre au traitement des minérais pauvres qu'à celui des minérais riches.

Quant à la quantité la plus convenable de minérai qu'on devra traiter à la fois, l'expérience l'apprendra. En attendant, soit le cas le plus défavorable, celui où l'on ne pourrait obtenir par opération que 30 kilo. de fer en barre, déchet de 10 pour 100 déduit; mais opérons sur un miné-

rai rendant 50 pour 100 de fer contenant 10 pour 100 de gangues fixes; imaginons le fer à l'état de peroxide, et supposons que le minérai ne reste que trois quarts d'heure dans chacun des trois fours, ce sont quinze à vingt minutes de plus que le fer ne met à se souder dans le four à réchauffer de la méthode anglaise.

Vu le déchet de 10 pour 100, il faudra 33,33 kilo. de fer en masset pour en retirer 30 en barres. Les $\frac{31}{69}$ de 33,33 kilo. seront la quantité d'oxigène contenue dans le minérai, et les $\frac{7}{18}$ de ceci celle du coke pur nécessaire à la réduction; enfin, le double de ce résultat, ce qu'il faut de houille pour cet objet, c'est à dire qu'il faudra 11,43 kilo. de houille pour réduire l'oxide.

En vingt-cinq minutes, trois quarts d'heure au plus, on ne consomme dans le four à réchauffer de la méthode anglaise que huit parties de houille pour en souder 10 de fer en grosses barres. Les 33,33 kilo. de fer que nous avons à souder et qui sont en petits grumeaux, par conséquent plus faciles à pénétrer de calorique, ne mettront certainement pas tout ce temps à s'agglutiner, et on consommera moins de combustible; ne changeant cependant rien au temps ni à la consommation admise ci-dessus, les 33,33 kilo. de fer à souder exigeront alors 26,67 kilo. de houille.

Mais ce minérai introduit 10 de gangue fixe sur 50 de fer, c'est $\frac{1}{5}$: ainsi les 33,33 kilo. de fer soudé introduiront 6,66 kilo. de gangue.

La capacité du verre pour le calorique est 19, et celle du fer 13; pour fondre 6,66 kilo. de gangue, il faudra $\frac{19}{13}$ de houille nécessaire à souder les 66 kilo. de fer, laquelle est les $\frac{8}{10}$ de 6,66; c'est à dire que cette quantité de houille sera $\frac{19}{13}$

de $\frac{9}{10}$ de 6,66 kilo., ou 7,69 kilo. Elle devrait n'être, à la rigueur, que les $\frac{5}{7}$ de ceci, puisque le four à puddler est maintenu à 7000 degrés, et qu'il n'en faut que 5000 pour vitrifier les gangues. Mais, attendu qu'il faudra, peut-être, introduire des matières étrangères pour améliorer la qualité du fer, portons à 10,90 kilo., au lieu de 7,63, la houille employée à cet objet, et nous aurons, en rassemblant ces diverses consommations :

Houille pour réduire le minérai.		11 k.	43
Houille sur la grille du reverbère. . .	pour souder le fer réduit.	26	67
	pour vitrifier les gangues.	10	90
Consommation totale de houille pour obtenir 30 kilogr. de fer en barres.		49 k.	»

C'est à dire qu'une partie de fer n'exige que 1,65 d'excellente houille, et la méthode anglaise en consomme plus de huit, non compris les machines. Portons à trois parties cette consommation dans la méthode proposée.

Quoique le minérai ne reste que trois quarts d'heure dans chaque fourneau, il met réellement deux heures un quart à passer à l'état de fer : s'il fallait plus de temps, on pourrait, sans diminuer la production de 30 kilog. en trois quarts d'heure, allonger l'appareil d'un ou de plusieurs fourneaux ; ce qui n'augmenterait la dépense que d'un manœuvre au plus par fourneau ajouté, et de l'entretien et de l'intérêt de ces fourneaux.

Dira-t-on qu'un séjour de trois quarts d'heure dans chaque four sera insuffisant, et qu'alors la consommation augmentera ? Mais, d'une part, on a presque doublé cette consommation, puisque de $\frac{1}{65}$ on l'a portée à 3 ; d'autre part, le minérai

arrive rouge dans le four de réduction, car il sort en cet état de celui de grillage : il n'y a donc véritablement à chauffer que la petite quantité du coke introduit froid dans le four; enfin, parce qu'en moins de trois quarts d'heure, du fer réduit se précipite au fond du creuset, dans les foyers catalans où le minérai est placé froid, ainsi que le combustible, et où la température n'est véritablement élevée que sur un seul point, on doit penser que tout ce temps ne sera pas nécessaire à la désoxidation dans un appareil où la température est partout et toujours à peu près la même, et ne baisse que par l'ouverture des portes et l'introduction d'un cinquième de coke froid sur un de minérai brûlant. La vitrification des gangues et le puddlage devront se faire plus rapidement, puisque, en vingt-cinq minutes, de grosses barres de fer, mises froides dans le four à réchauffer, se soudent, et que le minérai réduit est plongé incandescent dans le bassin de réception. Pourrait-on dire que c'est tirer plusieurs moutures d'un même grain, puisqu'on ne fait qu'utiliser l'énorme quantité de calorique que les cheminées des fours actuels laissent perdre? Dira-t-on, enfin, que le soufre dégagé de la houille placée sur la grille attaquera le fer? Mais tout se passe ici comme dans la méthode anglaise; les résultats obtenus ne seront donc pas, sous ce rapport, inférieurs à ceux de cette méthode.

Dès que les matières sont jetées dans le hautfourneau, on n'est plus maître d'elles; agissant presque au hasard, il faut subir les conséquences de ce hasard même. Qui peut assigner, sans se tromper, la qualité de la fonte provenant d'une charge qu'on vient de faire, quand, malgré l'ex-

cellence des mélanges, le travail dans le creuset peut tout compromettre? Au contraire, par le procédé que nous proposons, presque rien n'est laissé à l'arbitraire : à moins d'une négligence ou d'une malveillance extrême, l'ouvrier ne peut altérer les produits; cependant son intelligence n'est pas oisive; il lui reste suffisamment de quoi l'exercer, mais pas assez pour le fatiguer, l'inquiéter, lui faire perdre la tête.

Si, comme tout le fait présumer, on obtenait 30 kilog. de fer en trois quarts d'heure, un seul appareil en rendrait, par jour de vingt-quatre heures, 960; et pendant une année de trois cents jours, 2,880 quintaux mét. Ainsi, avec vingt appareils de ce genre, on obtiendrait annuellement 57,600 quintaux métriques de fer. Il en resterait 2 à 3 de rechange pour les réparations, si l'on n'en voulait fabriquer par an que 5000 quintaux métriques.

Il y a beaucoup à dire sur les artifices anglais: une autre disposition réduirait considérablement les dépenses et améliorerait les produits, parce que les maladresses seraient évitées, qu'on ne perdrait plus de temps en fausses manœuvres, et que le fer pourrait être comprimé ou étiré quand il est encore chaud.

Si les cylindres ébaucheurs, au lieu d'avoir un mouvement continu, en avaient un de va-et-vient, la loupe passerait des deux côtés de ces cylindres sans perte de temps, et le refroidissement serait moindre. Toute la manœuvre consisterait à serrer les vis; et, avec un appareil assez simple, on pourrait comprimer aussi la loupe par les deux bouts, et l'obliger à se présenter elle-même entre les cylindres. Il serait important de fabriquer

ainsi la tôle, sa grande minceur devant faire éviter toute cause de refroidissement; il en serait de même de toutes les pièces courtes qu'il ne faut qu'amincir.

Mais pour avoir du fer en barres, il faut des cylindres étireurs disposés de manière à ce que le masset sortant d'une paire passe de suite et successivement entre toutes les paires destinées à lui donner les dimensions voulues. Il y aurait moins de chaleur perdue; la matière étant plus molle, les vides des cannelures pourraient diminuer plus rapidement; il ne serait pas nécessaire de faire passer chaque barre entre un si grand nombre de cylindres, et le fer, beaucoup trop nerveux maintenant, perdrait moins de sa ténacité.

Le vide des cannelures pourrait décroître dans le rapport de 3 à 2, qui diffère peu de celui actuel, qui est de 15 à 11; et il est facile de calculer qu'en passant entre huit paires de cylindres au lieu de douze, comme on le pratique aujourd'hui, et supposant les paires à un mètre de distance et la vitesse de la roue motrice à sa circonférence de 1 mètre 3, il est facile de calculer, dis-je, qu'il faudrait à peine dix secondes pour obtenir une barre de 5 mètres de long : à Terre-Noire (Loire), où l'étirage s'exécute fort bien, il en faut 50, et ailleurs souvent 90, et la roue motrice n'a guère moins de 5 mètres de vitesse à sa circonférence; ce qui occasione des ruptures de dents, et, par suite, des chômages. Le système proposé semblerait donc entraîner moins d'inconvéniens, de main-d'œuvre et donner du fer de meilleure qualité que le système actuel.

Chaque cylindre ne porterait qu'une seule

cannelure, qu'on pourrait sortir à volonté de dessus sa partie équarrie destinée à la recevoir. Ils seraient alors beaucoup plus courts, les cages seraient aussi moins longues. Chaque arbre de cannelure porterait au dehors de la cage un pignon destiné à transmettre le mouvement d'un cylindre à l'autre de la même paire.

Imaginons maintenant une roue dentée sur l'arbre horizontal de la machine motrice, et dans le plan vertical de cette roue et sur une même horizontale six autres roues dentées égales à la première, dont trois en avant et trois en arrière de celle-ci, de manière à ce que ces sept roues laissent entre elles six intervalles égaux chacun au diamètre moyen des pignons dont les cylindres sont armés; qu'on place une cage entre chaque intervalle et une à chaque extrémité, mais de telle sorte que tous les pignons des cylindres inférieurs de chaque cage engrènent avec les roues, il y aura continuité dans les engrenages, la roue motrice transmettra son mouvement aux huit paires de cylindres, qui tourneront tous dans le même sens, et le masset, présenté à une des extrémités de ce système, sortira étiré en barre par l'autre extrémité. Un excentrique placé sur l'arbre de la roue motrice transmettrait le mouvement de va-et-vient aux cylindres ébaucheurs, à la tôlerie et aux cisailles.

Pour obtenir du fer de tout échantillon, on doit pouvoir changer à volonté les cannelures des quatre ou cinq dernières paires; ce qui entraînera une perte de temps, qu'on peut réduire de beaucoup, en faisant porter sur quatre roues les cages de ces paires, afin d'en faciliter le déplacement. En ayant un même nombre de paires

de rechange portées de la même manière, et sur lesquelles on placerait à son aise les cannelures de l'échantillon qu'on veut étirer plus tard, il n'y aurait qu'une simple substitution de cages à faire, ce qu'on pourrait exécuter en quelques minutes. On obtiendrait donc sans embarras et sans presque arrêter la machine, des fers carrés, mi-plats, refendus et ronds de tout échantillon.

Par le système actuel, le fer passe en 50 à 90 secondes dans douze cannelures; il se refroidit donc beaucoup, et son passage dans les dernières présente une grande résistance. Cependant, une machine de soixante-quinze chevaux, vapeur de Watt, fait marcher à la fois trois cisailles, un tour à cylindre, une tôlerie, un grand mill, un petit mill et des fenderies. Au grand mill, il y a souvent deux cannelures occupées à la fois et trois au petit mill. Or, toutes ces résistances sont évidemment plus considérables que celles du nouveau système, dans lequel cinq cannelures sont, comme dans celui-ci, occupées à comprimer un fer plus mou, parce qu'il est plus chaud, l'opération s'exécutant en dix secondes au lieu de cinquante à quatre-vingt-dix : en conséquence, une machine de la même puissance devrait suffire; cependant nous l'avons portée dans le devis à la force de cent vingt chevaux.

Le martelage de la loupe est dangereux, par les étincelles et le laitier incandescent qu'il projette en tous sens, et il n'est pas certain qu'il donne de meilleur fer. La surface du masset, rapidement comprimée par le choc, ne pourrait-elle pas s'opposer à la sortie des corps étrangers existant encore dans son intérieur ? Et une simple pression répétée sans perte de temps, comme on l'a

exposé, ne le purgerait-elle pas bien mieux ?

Le fer, sorti en loupe de chaque four à puddler, et porté à l'ébauchage, y rentre sous la forme de masset, et en ressort pour aller à l'étirage. Il faut donc, pour qu'il se refroidisse le moins possible, que les fours soient très rapprochés de ces deux artifices. En les répartissant autour de ceux-ci sur la circonférence d'un cercle de 30 mètres de diamètre, on aura, pour dix massifs de deux appareils chacun, la disposition la plus convenable : le mouvement des matières ne sera point gêné, et le fer n'aura que 15 à 16 mètres à parcourir pour se rendre du four aux artifices.

Sans entrer dans les détails du devis d'un établissement de ce genre fabriquant 50 mille quintaux métriques de fer par année, nous dirons que, tout outillé, pièces de rechange comprises, et avec un imprévu de près de cent mille francs, ce devis, que nous sommes en état de produire, ne s'élève qu'à 900,000 francs. Ainsi, dans une localité comme le Monastère, près Rodez, où le minérai cru rendant bien plus de 50 pour 100, puisqu'il rend 70 pour 100 d'excellente fonte grise, reviendrait à 1 fr. 50 c. le quintal métrique, la houille à 2 fr. ; où les frais généraux comprenant la main-d'œuvre de toute espèce, l'entretien des constructions et artifices, l'administration, etc., seraient portés à 6 fr. 91 c. ; où l'on compterait au 6 pour 100 l'intérêt du fonds de roulement, au 5 pour 100 celui de premier établissement, et où l'on ajouterait 89 c. d'imprévu par quintal métrique de fer *de tout échantillon*, celui-ci ne reviendrait cependant qu'à 19 francs, et l'on économiserait le quart de nos mines de fer et les deux tiers de nos houillères.

Dans le four à puddler actuel, on fabrique environ 2,500 kilog. de fer en vingt-quatre heures. Le travail que nous proposons est moins pénible et plus expéditif que l'autre; il est donc permis de penser que la fabrication diurne atteindra, en augmentant les dimensions des fours, cette production de 2,500 kilog. au lieu de 960 que nous l'avons supposée. Alors les dix systèmes de deux appareils chacun, nécessaires à la fabrication annuelle de 50 mille quintaux métriques, se réduiraient à 4 au plus; ce qui permettrait, ou de rapprocher les fours des artifices d'ébauchage et d'étirage, c'est à dire d'améliorer la qualité du fer en forgeant plus chaud, ou bien de doubler la fabrication à huit systèmes d'appareils seulement, sans rien ajouter à la force des artifices.

Si l'on voulait obtenir de la fonte par un procédé analogue, la main-d'œuvre serait un peu plus pénible que par les hauts-fourneaux, en ce que le minérai introduit par le gueulard descend de lui-même jusque dans le creuset, et qu'ici il faudrait l'y pousser successivement; mais on économiserait une machine soufflante, et l'on serait maître absolu du travail.

Pour faciliter la manœuvre, il faudrait disposer ces différens fours en gradins, ou les placer l'un sur l'autre, afin de n'avoir qu'à pousser le minérai devant soi au moyen d'un râble, pour le jeter dans le four inférieur et l'y étendre. Les fours de grillage et de réduction seraient assez grands pour recevoir, en minérai cru, la charge ordinaire d'un haut-fourneau; on introduirait dans celui de réduction un peu plus de coke qu'il n'en faut pour désoxider le minérai, afin de subvenir à la carburisation du fer réduit; un four

intermédiaire de fritte recevrait le minérai réduit et le coke en excès; sa forme serait telle qu'on pourrait y obtenir 6000 degrés de température nécessaires à la carburisation ; et le bassin de réception, armé de sa chauffe, en quoi consisterait le quatrième four, aurait des dimensions suffisantes au moulage des plus grosses pièces.

S'il fallait trois quarts d'heure pour fondre le minérai fritté, le minérai cru mettrait trois heures à passer à l'état de fonte.

Un plus grand nombre de fours tirerait un meilleur parti de la chaleur dégagée, et n'augmenterait guère la dépense que d'un manœuvre par four.

Tels sont les procédés que je livre aux méditations des hommes de l'art, leur faisant remarquer qu'il n'y a ici rien de neuf; que ce ne sont que des améliorations fondées sur des résultats en grand, et ayant pour but de tirer un parti plus avantageux des matières, du temps et de la chaleur dégagée.

ORDONNANCES DU ROI,

CONCERNANT LES MINES,

RENDUES PENDANT LA SUITE DU SECOND TRIMESTRE DE 1828.

ORDONNANCE du 13 avril 1828, relative à la remise de la redevance proportionnelle accordée aux concessionnaires des mines de plomb et d'argent de Villefort et Vialas (Lozère).

Mines de plomb et argent de Villefort et Vialas.

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.

ART. Ier. Il est fait aux concessionnaires des mines de plomb et argent de Villefort et Vialas, département de la Lozère, remise de leur redevance proportionnelle pendant quinze années, à partir du 1er. janvier 1828.

ART. II. Cette remise est faite aux concessionnaires, à la charge par eux d'achever, dans le plus court délai possible, la grande galerie d'écoulement, dont le percement est en ce moment commencé, et qui doit avoir neuf cents mètres environ de longueur. Ils justifieront, chaque année, au préfet de l'avancement de cette galerie.

Faute d'un avancement reconnu convenable par le préfet, et sur l'avis de notre Ministre secrétaire d'État de l'intérieur, notre Ministre des finances nous proposera, s'il y a lieu, la révocation du bénéfice de la remise accordée par la présente, pour tout le temps restant à courir jusqu'à l'expiration des quinze années.

Forge de Torteron.

ORDONNANCE du 16 *avril* 1828, *portant que le sieur* Boignes *est autorisé à ajouter, conformément au plan qui restera joint à la présente ordonnance, un second haut-fourneau propre à fondre le minérai de fer, à la forge de Torteron, commune de Patinges* (Cher), *et qu'il pourra consommer dans ce fourneau un mélange de coke ou houille carbonisée et de charbon de bois.*

Haut-fourneau de Maucours.

ORDONNANCE du 16 *avril* 1828, *portant que le sieur* Dollin du Fresnel *est autorisé à construire à Maucours, sur le ruisseau de Nouart, commune de Nouart* (Ardennes), *dans l'emplacement de l'ancienne forge de Maucours, un haut-fourneau à fondre le minérai de fer avec le charbon de bois, en se conformant aux deux plans joints à la présente ordonnance.*

Lavoirs à bras de Collonges.

ORDONNANCE du 25 *avril* 1828, *portant que la demoiselle* Arthaud *est autorisée à établir, conformément au plan joint à la présente ordonnance, un lavoir à cheval et cinq lavoirs à bras pour le lavage du minérai de fer, sur le ruisseau venant de l'étang qui dépend de la métairie de Collonges, commune de Broye-les-Loups* (Haute-Saône).

Forge du moulin St.-Blaise.

ORDONNANCE du 25 *avril* 1828, *portant que le sieur* Baudot *est autorisé à construire une forge à fer sur la rivière du Cul-de-Cerf, au lieu dit* le Moulin Saint-Blaise, *commune de Manois* (Haute-Marne), *et que cette usine se composera, conformément au plan joint à la présente ordonnance, d'un feu ordinaire d'affinerie, d'un marteau et de deux roues hydrauliques.*

ORDONNANCE du 25 avril 1828, portant que le sieur de la Tour-Dupin-Gouvernet-de-la-Charce *est autorisé à conserver et tenir en activité, conformément au plan joint à la présente ordonnance, un patouillet à roue, destiné au lavage du minérai de fer, qu'il possède sur la rivière du Vanou, commune de Roche* (Haute-Saône).

Patouillet à roue du Vanou.

ORDONNANCE du 25 avril 1828, portant que les Srs. Philippon *frères sont autorisés, 1°. à conserver et maintenir en activité deux lavoirs à bras, pour le lavage du minérai de fer au lieu dit* Eu-Verfontaine, *commune de Bouhans* (Haute-Saône); *2°. à établir, près desdits lavoirs, un lavoir à cheval pour le même usage; le tout conformément aux deux plans annexés à la présente ordonnance.*

Lavoirs à bras à Eu-Verfontaine.

ORDONNANCE du 25 avril 1828, portant concession des mines de fer contenues dans la concession houillère, dite de Terre-Noire, *arrondissement de Saint-Étienne* (Loire).

Mines de fer de Terre-Noire.

CHARLES, etc., etc., etc.

ART. Ier. Il est fait, à la compagnie anonyme des mines de fer de Saint-Etienne, sous le nom de concession des mines de fer de Terre-Noire, concession des gîtes de minérais de fer connexes ou non connexes avec la houille, qui sont compris dans l'étendue de la concession houillère dite de Terre-Noire, accordée par ordonnance du 4 novembre 1824, arrondissement de Saint-Etienne, département de la Loire.

ART. II. Cette concession, dont l'étendue superficielle est de cinq kilomètres carrés soixante-douze hectares, con-

formément au plan qui restera annexé à la présente ordonnance, est limitée, comme la concession des mines de houille de Terre-Noire, ainsi qu'il suit; savoir :

Au sud, de la décharge supérieure des eaux du moulin du Rey dans le Furens, une droite dirigée sur l'angle nord de la Perrotière, mais terminée à sa rencontre avec le chemin de la Palle au hameau de la Cartonnière, passant par les Rases; puis les chemins des Rases et de la Palle à Beaulieu, jusqu'à la rencontre du chemin de la Mulotière à la Pouilleuse; ensuite ce dernier chemin jusqu'à l'angle sud-ouest de la Pouilleuse; de cet angle, deux lignes droites brisées passant successivement par l'angle sud de La Coche et par l'angle nord de la maison de Direction de la Compagnie des forges et fonderies de la Loire et de l'Isère; de là, les contours nord-est du clos attenant à ladite maison jusqu'à leur angle est; enfin, une ligne droite tirée de cet angle est du clos, à l'angle nord de la Perrotière, mais terminée à son intersection avec une autre ligne droite tirée du clocher de Roche-Taillée au clocher de Sorbiers;

A l'est, de cette intersection, la ligne droite tirée du clocher de Roche-Taillée à celui de Sorbiers, mais terminée à sa rencontre avec une autre ligne droite passant par l'angle ouest de Grange-Neuve et le centre du carrefour du Grand-Rouzy;

Au nord, cette dernière ligne droite jusqu'au centre du carrefour du Grand-Rouzy; puis une ligne droite tirée du centre de ce carrefour, vers le milieu de la grille de l'enclos du sieur Montanier, sur le bord de la grande route de Saint-Etienne à Lyon, jusqu'au point où cette ligne droite est coupée par une autre droite tirée du clocher de Saint-Jean de Bonnefond, sur le point d'intersection du chemin de Reveux au grand cimetière avec la grande route de Saint-Etienne à Lyon; de là cette dernière droite jusqu'à la rencontre du chemin de Reveux; ensuite la route de Saint-Etienne à Lyon jusqu'au point où commence le chemin de service qui conduit à Terre-Noire; de ce point une ligne droite à l'angle le plus au nord des bâtimens de la Richelandière et prolongée jusqu'à son intersection avec le cours du ruisseau de l'Isérable; puis en descendant le cours dudit ruisseau jusqu'à la rencontre de

la droite tirée de l'angle ouest de Grange-Neuve au centre du carrefour qui est situé à l'angle le plus au nord de Bérard (dernière maison nord du hameau de Bérard); de cette rencontre la dernière droite décrite jusqu'au dit carrefour; puis le plus court chemin de service qui conduit à la grande route de Lyon à Saint-Etienne, et enfin cette dernière grande route jusqu'à la Monta, au point où commence le chemin vicinal qui tend à Sorbiers;

A l'ouest, de ce dernier point, une droite tirée à l'angle sud-est du clos de Chantegrillet, de là une autre droite dirigée vers le point de jonction des chemins qui tendent de la Pouilleuse et de la Palle à Villebœuf; puis une autre droite terminée à la décharge supérieure des eaux du moulin de Rey dans le Furens, point de départ.

Art. III. Le concessionnaire paiera à l'Etat les redevances fixe et proportionnelle établies par les art. 33 et 34 de la loi du 21 avril 1810 et par le décret du 6 mai 1811.

Art. IV. Il paiera aux propriétaires de la surface les indemnités voulues par les art. 43 et 44 de la susdite loi, relativement aux dégâts et non-jouissance de terrains occasionés par les exploitations.

Art. V. Le droit attribué aux propriétaires de la surface par les art. 6 et 70 de la loi du 21 avril 1810, sur le produit des mines concédées, est réglé à une redevance en argent proportionnelle aux produits de l'extraction, laquelle sera payée par le concessionnaire aux propriétaires des terrains sous lesquels il exploitera.

Cette redevance est et demeure fixée à dix centimes par quintal métrique de minérai de fer extrait au jour, trié et non grillé, quelles que soient la profondeur de l'exploitation et l'épaisseur des couches métallifères. Cette disposition sera applicable lorsqu'il n'existera pas de convention antérieure entre le concessionnaire et les propriétaires de la surface. S'il existe de semblables conventions, elles seront exécutées, pourvu toutefois qu'elles ne soient pas contraires aux règles qui seront prescrites en vertu de l'acte de concession pour la conduite des travaux souterrains et dans la vue d'une bonne exploitation; dans le cas opposé, elles ne pourront donner lieu entre les parties intéressées qu'à une action en indemnité.

Art. VI. Cette redevance sera payée par le concession-

naire avant l'enlèvement des minérais, et, dans tous les cas, pour les minérais qui ne seraient pas encore enlevés, dans le délai d'un an, à partir de l'extraction.

ART. VII. Aussitôt que le concessionnaire portera les travaux d'extraction sur une nouvelle propriété superficielle, il sera tenu d'en informer le propriétaire, lequel pourra placer, à ses frais, sur la mine un préposé, à l'effet de le représenter dans le réglement contradictoire de ses intérêts, tels qu'ils sont déterminés par les deux articles précédens.

ART. VIII. Tant que l'usine de Janon sera en activité, le concessionnaire ne pourra livrer du minérai au commerce, avant d'avoir fourni à cette usine la quantité de minérai nécessaire à son exploitation, au prix qui sera réglé par l'administration, conformément à l'art. 70 de la loi du 21 avril 1810.

ART. IX. Le concessionnaire se conformera aux instructions qui lui seront données par l'administration et par les ingénieurs des mines du département, d'après les observations auxquelles la visite et la surveillance de ces mines pourront donner lieu.

Il sera tenu également à l'exécution des clauses générales insérées dans l'art. 8 de notre ordonnance du 19 décembre 1827, concernant la concession des mines de fer de Beaubrun et de Montsalson, compris dans le périmètre n°. 4 du territoire houiller de Saint-Étienne.

Ces conditions spéciales seront énoncées textuellement dans les ampliations de la présente.

ART. X. La présente ordonnance sera publiée et affichée aux frais du concessionnaire dans les communes sur lesquelles s'étend la concession.

ART. XI. Nos Ministres secrétaires d'État de l'intérieur et des finances sont chargés de l'exécution de la présente ordonnance, qui sera insérée par extrait au Bulletin des Lois.

Suit la teneur des clauses générales.

1°. Dans le délai de trois mois, à dater de la notification de l'ordonnance de concession, il sera posé des bornes sur tous les points servant de limites à la concession, où cette mesure sera reconnue nécessaire.

L'opération aura lieu aux frais du concessionnaire, à la diligence du Préfet, et en présence de l'Ingénieur en chef des mines, qui en dressera procès-verbal.

2°. Le concessionnaire maintiendra en activité les exploitations existantes dans l'étendue de la concession, tant qu'elles pourront être poursuivies sans perte pour l'exploitant.

3°. Dans les quatre mois qui suivront la notification de la présente ordonnance, le concessionnaire adressera au Préfet du département les plans et coupes des exploitations existantes, dressés sur l'échelle d'un millimètre par mètre, et divisés en carreaux de dix en dix millimètres. Ces plans seront accompagnés de profils et du tracé circonstancié des travaux que le concessionnaire se proposera d'exécuter, comme développement des travaux existans, lors de sa prise de possession. Il y joindra un mémoire explicatif.

4°. Chaque année, au mois de janvier, le concessionnaire adressera au Préfet les plans et coupes des travaux exécutés dans le cours de l'année précédente. Ces plans, dressés sur la même échelle que celle qui a été désignée au n°. 3 ci-dessus, seront vérifiés, s'il y a lieu, par les ingénieurs des mines.

5°. Sur la projection horizontale des plans fournis en vertu des deux articles précédens, le concessionnaire tracera les limites des propriétés territoriales de la surface du sol.

6°. Il ne pourra être procédé à l'ouverture d'un nouveau puits vertical ou incliné (fendue), ou d'une nouvelle galerie partant du jour pour être mise en communication avec des travaux existans, ou à la reprise d'aucun ancien puits, pour le même objet, sans que le concessionnaire en ait fait la déclaration au Préfet six semaines au moins à l'avance.

7°. Lorsque le concessionnaire voudra ouvrir un nouveau champ d'exploitation, soit à l'aide de puits ou galeries à pratiquer au jour, soit à l'aide d'anciennes ouvertures d'exploitations de houille ou de fer, ou lorsqu'il voudra entrer dans un ancien champ d'exploitation de houille déjà abandonné, il en fera la déclaration au Préfet, trois mois au moins à l'avance.

Cette déclaration sera accompagnée de la désignation des propriétés territoriales que le nouveau champ d'exploitation devra embrasser et du tracé des travaux que le concessionnaire se proposera d'exécuter, accompagné d'un mémoire explicatif.

Un extrait de la déclaration, rédigé par l'ingénieur, sera affiché pendant un mois à la porte de chacune des mairies que renferme le périmètre de la concession.

8°. La déclaration faite par le concessionnaire, en exécution des deux articles précédens, sera sur-le-champ notifiée, à ses frais et à la diligence du Préfet, au concessionnaire des mines de houille, qui sera mis en demeure de fournir ses dires et observations dans le délai d'un mois.

9°. Dans le cas où des circonstances imprévues obligeraient à apporter quelques changemens aux plans généraux d'exploitation, le concessionnaire sera tenu d'en faire immédiatement la déclaration au Préfet du département.

10°. Dans les divers cas déterminés par les nos. 3, 6, 7 et 9 ci-dessus, et à l'expiration des délais qu'ils ont fixés, le Préfet, sur les observations qui pourraient lui avoir été adressées par le concessionnaire des mines de houille, et sur le rapport des ingénieurs qui constateraient dans le projet de travaux des vices susceptibles de compromettre la sûreté ou la conservation, soit de la mine concédée, soit de la concession de la houille, soit d'autres concessions voisines, ou bien encore de nuire à la bonne exploitation de la houille, pourra modifier, suspendre ou interdire l'exécution de tout ou partie des ouvrages projetés, sauf à en rendre compte immédiatement à notre Ministre de l'intérieur. Dans le cas contraire, il approuvera les projets de travaux et en autorisera l'exécution.

11°. Dans le cas où il serait constaté, par procès-verbal de l'ingénieur, que le concessionnaire ne suit pas le plan d'exploitation conforme à sa déclaration ou aux modifications adoptées par le Préfet, il y aurait lieu à soumettre les travaux à une surveillance spéciale. A cet effet, un garde-mine ou tout autre préposé, commis aux frais du concessionnaire par le Préfet, serait chargé de lui rendre compte journellement de l'état des travaux, et de lui proposer telle mesure qui serait jugée nécessaire.

Le même moyen de surveillance pourra être ordonné par le Préfet, en cas d'inexécution de la part du concessionnaire des obligations qui lui sont imposées par les nos. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 10 ci-dessus, le tout sans préjudice de l'action que le concessionnaire des mines de houille pourrait exercer, dans son intérêt privé, contre le concessionnaire des mines de fer, si le premier croyait pouvoir reprocher à celui-ci de ne pas s'être conformé au plan de travaux déclaré par lui ou modifié par le Préfet.

12°. Les frais relatifs aux visites des lieux, à la surveillance spéciale et aux levées de plans qui pourront être ordonnées d'office par le Préfet, pour l'exécution des articles précédens, seront réglés administrativement, et le recouvrement en sera poursuivi comme il est prescrit en matière de grande voirie. En cas de contestation, il sera statué en conseil de préfecture.

13°. En cas de contestation entre les concessionnaires, sur le fait de connexité ou de non-connexité du minérai de fer avec la houille, il y sera statué par le Préfet sur le rapport de l'ingénieur des mines, les parties entendues, sauf recours à notre Ministre de l'intérieur.

14°. Une fois que le fait de connexité aura été déclaré, soit par les parties d'un commun accord, soit par le Préfet, celui-ci déclarera s'il y a ou non lieu à l'exploitation immédiate; dans le cas de l'affirmative, l'exploitation ne pourra être faite que par un seul et même système de travaux qui soit commun à l'exploitation des deux substances, le tout ainsi qu'il est réglé par les articles suivans.

15°. Lorsque les travaux d'une mine de fer rencontreront une couche de houille non exploitée, le concessionnaire des mines de fer devra en faire la déclaration au Préfet, lequel, si la connexité des deux substances est reconnue, mettra le concessionnaire de la houille en demeure de déclarer, dans le délai d'un mois, s'il entend exploiter dans cette localité la houille et le fer. Dans ce cas, il sera mis en possession des travaux, à la charge d'exploiter la houille et le fer d'une manière conforme à ce qui est prescrit, pour la houille seulement, par les clauses de son acte de concession, et à la charge de délivrer le minérai au concessionnaire de mines de fer au prix d'extraction, prix

aura lieu, comme en matière de contributions directes, conformément aux règles prescrites par la loi du 4 mai 1803 (14 floréal an 11).

24°. La conservation des travaux mentionnés au n°. 23 sera placée sous la surveillance des ingénieurs des mines du département, qui devront rédiger et présenter au Préfet les devis des dépenses d'entretien jugées nécessaires. Ces dépenses seront réparties entre les concessionnaires intéressés par un arrêté du Préfet, et le montant en sera recouvré comme celui des frais de premier établissement.

25°. Dans le cas où des travaux d'exploitation auraient lieu sur les mêmes couches dans deux concessions contiguës, le Préfet du département pourra ordonner, sur le rapport des ingénieurs des mines, qu'un massif de houille ou de minérai de fer soit réservé intact sur chaque couche, près de la limite commune aux deux concessions, pour éviter que les exploitations soient mises en communication d'une manière préjudiciable à l'une ou à l'autre.

L'épaisseur des massifs sera déterminée par l'arrêté du Préfet, qui en ordonnera la réserve. Cette épaisseur sera toujours prise par moitié sur chacune des deux concessions.

Les massifs ne pourront être traversés ou entamés par un ouvrage quelconque que dans le cas où le Préfet, après avoir entendu les concessionnaires intéressés, et sur le rapport des ingénieurs des mines, aura pris un arrêté pour autoriser cet ouvrage et prescrit le mode suivant lequel il sera exécuté. Il en sera de même pour le cas où, l'utilité des massifs ayant cessé, un arrêté du Préfet pourra autoriser chaque concessionnaire à exploiter la portion qui lui appartiendra.

26°. La houille menue et les matières susceptibles de s'enflammer spontanément dans l'intérieur des mines seront transportées au jour, au fur et à mesure de l'avancement des travaux, à moins d'une autorisation spéciale du Préfet, délivrée sur le rapport des ingénieurs des mines.

27°. Le concessionnaire sera tenu de se conformer aux mesures qui seront prescrites par l'administration, pour prévenir les dangers résultant de la présence du gaz hydrogène et de son explosion dans les mines, et de supporter les charges qui pourront à cet effet lui être imposées.

28°. Les machines d'extraction placées à l'orifice des puits verticaux ou inclinés devront toujours être garnies d'un frein en bon état.

29°. En exécution des décrets du 18 novembre 1810 et 3 janvier 1813, et indépendamment du plan des travaux souterrains, le concessionnaire tiendra constamment en ordre, sur chaque exploitation, 1°. un registre constatant l'avancement journalier des travaux et des circonstances extraordinaires de l'exploitation ; 2°. un registre indiquant le nom des propriétaires sous le terrain desquels il exploite; 3°. un registre de contrôle journalier des ouvriers employés aux travaux extérieurs ou intérieurs ; 4°. un registre d'extraction et de vente. Il communiquera ces registres aux ingénieurs des mines, lors de leurs tournées. Il transmettra en outre au Préfet, tous les ans, et au directeur général des ponts et chaussées et des mines, toutes les fois qu'il en fera la demande, l'état certifié des ouvriers employés et celui de la quantité du minérai de fer extrait dans l'espace de temps qui lui sera indiqué.

30°. En exécution de l'art. 14 de la loi du 21 avril 1810, le concessionnaire ou ses ayans-cause ne pourront confier la direction de leurs exploitations qu'à un individu qui justifiera de la capacité nécessaire pour bien conduire les travaux.

La présente concession devant être exploitée par une société en nom collectif, la société est tenue de désigner, par une déclaration authentique faite au secrétariat de la préfecture, celui de ses membres ou toute autre personne qu'elle aura pourvue de pouvoirs nécessaires pour correspondre, en son nom, avec l'autorité administrative, et en général pour la représenter vis à vis de l'administration, tant en demandant qu'en défendant.

31°. Le concessionnaire procurera un libre accès dans ses mines aux élèves externes de l'École royale des Mines de Paris qui seraient envoyés en mission ou en voyage d'instruction par le directeur général des ponts et chaussées et des mines. Il sera tenu de procurer aussi, tous les deux ans, un libre accès, dans chacune de ses exploitations, à cinq élèves de l'École royale des mineurs de Saint-Etienne, pendant une semaine, sur l'invitation qui lui en sera faite par le directeur de cette École. Ce temps de vi-

site des élèves pourra être employé à des levées de plans souterrains, à des dessins de machines ou à des travaux manuels de la mine, tels que l'entaille du minérai de fer ou de la roche, le boisage, etc.

32°. Le concessionnaire ne pourra abandonner tout ou partie notable des ouvrages souterrains pratiqués dans l'étendue d'un champ d'exploitation, qu'il n'ait rempli les dispositions prescrites par les articles 8 et 9 du réglement sur les mines du 3 janvier 1813, et que sa déclaration n'ait été notifiée au concessionnaire de la houille et publiée et affichée, conformément aux nos. 7 et 8 ci-dessus. Il sera tenu de notifier aux propriétaires intéressés et au concessionnaire de la houille l'autorisation du Préfet, dans les huit jours qui suivront son obtention.

33°. En cas d'abandon des mines ou de renonciation à la concession, il en préviendra le Préfet, par pétition régulière, au moins six mois à l'avance, pour qu'il puisse être pris les mesures convenables, soit pour sauver les droits des tiers par la publication qui sera faite de la pétition, soit pour la reconnaissance complète, la conservation ou, s'il y a lieu, l'abandon définitif des travaux.

34°. Il y aura particulièrement lieu à l'exercice de la surveillance de l'administration des mines, en exécution des articles 47, 49 et 50 de la loi du 21 avril 1810, et du titre II du réglement définitif du 3 janvier 1813, si la propriété de la concession vient à être transmise d'une manière quelconque par le concessionnaire, soit à un seul individu, soit à une société. Le cas échéant, le titulaire de la concession sera tenu de se conformer exactement aux conditions prescrites par l'acte de concession.

35°. Dans le cas prévu par l'article 49 de la loi du 21 avril 1810, où l'exploitation serait restreinte ou suspendue sans cause reconnue légitime, le Préfet assignera au concessionnaire un délai de rigueur qui ne pourra excéder six mois, et faute par le concessionnaire de justifier, dans ce délai, de la reprise d'une exploitation régulière et des moyens de la continuer, il en sera rendu compte, conformément audit article 49, à notre Ministre secrétaire d'État de l'intérieur, qui nous proposera, s'il y a lieu, dans la forme des réglemens d'administration publique, la révo-

cation de la présente concession, sous toutes réserves des droits des tiers.

36°. Le concessionnaire se conformera d'ailleurs aux lois, ordonnances et réglemens intervenus ou à intervenir sur le fait des mines, et notamment aux dispositions des art. 15, 16, 22 et 25 du décret du 3 janvier 1813.

Ordonnance du 30 *avril* 1828, *portant concession des mines de houille situées sur le territoire de Mailhac* (Aude).

Mines de houille de Mailhac.

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.

Art. Ier. Il est fait concession aux héritiers du sieur Bernard Lignières, dénommés en l'acte d'association notarié, du 3 avril 1827, des mines de houille existant sur le territoire de Mailhac, département de l'Aude.

Art. II. Cette concession, renfermant une étendue superficielle de cinq kilomètres carrés soixante-neuf hectares, est et demeure limitée, conformément au plan joint à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

Au sud, par une ligne droite tirée du pont de Mailhac au point de rencontre des limites des communes d'Aigues, d'Oupia (Hérault) et de Mailhac, sur le chemin de Puech;

A l'ouest, par la limite commune des territoires de Mailhac et d'Aigues, qui se termine à la rencontre de la rivière de Saint-Jean-de-Cas;

Au nord, par la limite commune de Mailhac et d'Aigues-Vives (Hérault);

A l'est, par la limite commune de Mailhac et de Bize, jusqu'à son intersection avec le chemin de Bize à Mailhac;

Au sud-est, par le chemin de Bize à Mailhac jusqu'au pont de la Repude, point de départ.

Art. III. Les concessionnaires sont tenus de se conformer exactement aux clauses et conditions du cahier des charges, arrêté en conseil général des mines et approuvé par notre directeur général des ponts et chaussées et des mines, et qu'ils ont accepté, suivant déclarations des 29 août 1825 et 25 janvier 1826; ce cahier des charges sera

annexé à la présente ordonnance, qui sera publiée et affichée aux frais des concessionnaires dans la commune de Mailhac.

Mines de houille de Lalle.

Ordonnance du 30 *avril* 1828, *portant concession des mines de houille de Lalle* (Gard).

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.

Art. Ier. Il est fait aux sieurs de Sarrazin et Dalverny concession des mines de houille de Lalle, situées sur une partie des territoires d'Aujac, Castillon et Portes, département du Gard, sur une étendue superficielle de quatre kilomètres carrés six hectares.

Art. II. Cette concession est limitée, conformément au plan joint à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

A l'ouest, par une ligne droite tirée de la métairie de la Côte du Long à celle de Boudène, et prolongée jusqu'à son intersection avec la droite menée du clocher de Peyremalle à celui de Meyrannes, et qui appartient au périmètre de la concession des mines de houille de Robiac ;

Au sud, par la partie de la même ligne de Peyremalle à Meyrannes, comprise entre le point d'intersection ci-dessus déterminé et la rivière de Gagnières, rive droite ;

A l'est, par la droite menée du dernier point fixé sur la rivière de Gagnières au lieu dit les Verreries ;

Au nord, par deux lignes droites tirées des Verreries au Mas-Bleu et du Mas-Bleu à la Côte du Long, point de départ.

Art. III. Dans les trois mois qui suivront la notification de la présente ordonnance, il sera planté des bornes sur chacun des points d'intersection ci-dessus désignés.

L'opération aura lieu aux frais des concessionnaires, à la diligence du Préfet et en présence de l'ingénieur des mines, qui en dressera procès-verbal, dont expédition sera déposée à la préfecture du département.

Art. IV. Les concessionnaires se conformeront exactement aux clauses et conditions du cahier des charges arrêté en conseil général des mines et approuvé par notre

directeur général des ponts et chaussées et des mines. Ce cahier des charges restera annexé à la présente ordonnance.

ORDONNANCE du 30 avril 1828, portant autorisation de transformer en une usine à fer les deux martinets de l'usine de Buisson, située sur la Loue, commune de Chenecey (Doubs). Usine de Buisson.

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.

ART. Ier. Le sieur Dubost est autorisé à transformer les deux martinets de l'usine de Buisson, située sur la Loue, commune de Chenecey, département du Doubs, à l'emplacement désigné sur le plan, qui restera annexé à la présente, en une usine à fer, qui restera composée ainsi qu'il suit :

1°. De trois roues motrices, destinées à mettre en mouvement quinze paires de laminoirs et cylindres, propres à forger, laminer et étirer les fers et les tôles ;

2°. De six fours à puddler, pour fabriquer les fers marchands à la houille ;

3°. De six fours d'affinerie, pour y affiner au vent les fers fins, par un mélange de coke et de charbon de bois ;

4°. D'un feu de mazéage, destiné à fondre et épurer les fontes avec du coke ;

5°. De huit fours à réverbère, pour chauffer les fers et les tôles à la houille.

ORDONNANCE du 30 avril 1828, portant autorisation d'établir une usine à fer en la commune de Nouzon (Ardennes). Usine de Nouzon.

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.

ART. Ier. Les sieurs Rouflette frères sont autorisés à établir dans la commune de Nouzon (Ardennes) une usine à fer, qui sera composée, 1°. d'un haut-fourneau allant au charbon de bois ;

2°. D'un feu d'affinerie, allant également au charbon de bois;

3°. De deux fours d'affinage à la houille, dont l'un servira à remplacer le feu d'affinerie au charbon de bois, toutes les fois que le travail de celui-ci sera interrompu;

4°. D'une chaufferie également à la houille;

5°. Des marteaux et martinets accessoires.

Le tout conformément aux quatre plans, qui resteront annexés à la présente ordonnance.

Usine à fer et à acier de Belvianes.

Ordonnance du 30 *avril* 1828, *portant autorisation d'établir une usine à fer et à acier en la commune de Belvianes* (Aude).

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.

Art. Ier. Le sieur Auguste Rivals est autorisé à construire sur le canal dérivé de la rivière d'Aude, dans la commune de Belvianes, département de l'Aude, une usine à fer et à acier, composée, conformément aux deux plans qui resteront annexés à la présente, savoir :

D'un atelier, formant 1°. deux équipages doubles de cylindres cannelés pour l'étirage des fers; 2°. un espatard à cylindres unis, avec deux fours à réverbère à double chauffe pour le chauffage du fer;

D'un second atelier, composé d'un espatard à cylindres unis, pour le travail de la tôle et du fer-blanc;

De deux feux de martinet avec deux marteaux, pour le corroyage et le parage du fer et de l'acier;

D'un fourneau à réverbère, pour le chauffage de la tôle et pour la fonte de seconde fusion;

Enfin, d'un fourneau de cémentation à deux caisses, de la capacité de deux mille cinq cents décimètres cubes.

ORDONNANCE du 7 mai 1828, concernant l'usine de Beausoleil, commune d'Angoisse (Dordogne). Usine de Beausoleil.

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.

ART. Ier. Le sieur Montagut est autorisé à conserver et tenir en activité l'usine de Beausoleil, commune d'Angoisse, département de la Dordogne.

ART. II. La consistance de cette usine, mise en mouvement par la rivière de la Loue, est et demeure fixée conformément aux deux plans d'ensemble et de détails joints à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit; savoir :

Un haut-fourneau pour fondre le minérai de fer;

Deux affineries pour la conversion de la fonte en fer;

Un bocard à crasses.

ORDONNANCE du 7 mai 1828, portant que le sieur Simon *est autorisé à établir sur sa propriété dite* la Camuterie, *territoire de la ville de Sainte-Ménéhould* (Marne), *une verrerie à verre blanc, qui sera composée d'un four à huit ouvreaux, et que ledit four sera situé à l'extrémité de la propriété du sieur Simon, la plus éloignée des habitations.* Verrerie de la Camuterie.

ORDONNANCE du 25 mai 1828, portant que la dame veuve Lacoste *et les sieur et dame* Bleynie *sont autorisés à conserver et tenir en activité et à augmenter l'usine à fer de Fayolle, située dans la commune de Sarrazac* (Dordogne), *et que la consistance de cette usine, alimentée par la rivière de l'Ile, est et demeure fixée, conformément aux deux plans joints à la présente ordonnance, en un haut fourneau pour fondre le minérai de fer au charbon de bois; deux affineries pour la conversion de la fonte en fer, également au charbon de bois, et un bocard à crasses.* Usine à fer de Fayolle.

Usine à fer de Saut-de-Sabo.

Ordonnance du 25 mai 1828, portant autorisation d'établir une usine à fer au lieu dit le Saut-de-Sabo (Tarn).

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.

Art. Ier. Les sieurs Garrigou, Massenet et compagnie sont autorisés à établir sur la rive gauche du Tarn, au lieu dit *Saut-de-Sabo*, commune de Saint-Juéry, arrondissement d'Alby, département du Tarn;

1°. Une fabrique d'acier consistant en deux fourneaux de cémentation pour convertir le fer en acier;

2°. Quarante feux de chaufferie, avec leurs martinets, pour étirer et corroyer les diverses sortes d'acier et platiner des faux.

3°. Deux fourneaux à réverbère, avec deux laminoirs, pour le même objet;

4°. Une usine à fer, consistant en un haut-fourneau où le minérai sera traité avec le coke;

5°. Deux fourneaux d'affinage à réverbère, pour convertir la fonte en fer, avec deux cylindres-laminoirs et un marteau pour comprimer et étirer le métal;

6°. Trois martinets à cuivre.

Art. II. Pour imprimer le mouvement aux divers marteaux et cylindres mentionnés en l'art. Ier., ainsi qu'aux machines soufflantes, il est concédé l'usage d'un volume de onze mètres cubes et demi d'eau par seconde. A cet effet, il est permis d'établir une prise d'eau de quatre mètres de large, et dont le seuil sera à trois mètres vingt centimètres en contre-bas du repère fixé par les ingénieurs des ponts et chaussées au point O du plan folio 3, qui restera annexé à la présente ordonnance, immédiatement en aval de la pointe orientale des rochers du Saut-de-Sabo, mais à la condition que la compagnie achètera le moulin à blé et à huile de Saint-Juéry, rive gauche du Tarn, ou s'arrangera avec son propriétaire, pour faire souffrir à ce moulin, pendant l'étiage, la diminution d'eau nécessaire pour compléter les onze mètres cubes et demi concédés, et pour fournir aux besoins de la navigation du Tarn, si un jour elle est prolongée jusqu'à ce point et au delà.

Art. III. La quantité d'eau concédée au moulin d'Arthès (rive droite du Tarn) est de 6 mètres cubes six cen-

tièmes de mètre cube par seconde. Pour lui assurer cette quantité d'eau et détourner l'autre au profit des nouvelles usines, il sera construit, aux frais des sieurs Garrigou, Massenet et compagnie, un seuil FF, en maçonnerie, sur le déversoir, de manière à ce qu'il soit horizontal et élevé de deux mètres dix centimètres au dessus du seuil des vannes dudit moulin d'Arthès, et établi, à l'entrée du canal d'amené, deux épis AB et CD attachés l'un à la digue au point A et l'autre au rivage au point D, de manière à être submersibles aux moindres crues et à laisser entre eux un intervalle qui, à l'époque des plus grandes sécheresses, laisse passer un volume d'eau suffisant pour que, toutes les vannes du moulin étant ouvertes, les eaux affleurent constamment la ligne supérieure du déversoir sans passer dessus. Ces travaux s'exécuteront sous les ordres des ingénieurs des ponts et chaussées, qui détermineront la forme des ouvrages et l'époque où ils devront être exécutés, et qui en dresseront procès-verbal. Ce procès-verbal restera déposé aux archives de la préfecture et à celles de la commune de Saint-Juéry.

La compagnie est autorisée à exhausser les parties basses de la digue G et H, en établissant solidement et à demeure des seuils en bois, à vingt centimètres au dessous de l'étiage, et attachant avec de fortes charnières à ces seuils des espèces de vannes tournantes de trente centimètres d'équarrissage, qui, à l'époque des crues, seront renversées par la force de l'eau.

Art. IV. La quantité d'eau concédée à la papeterie (rive gauche du Tarn) reste fixée à un mètre cube par seconde, savoir cinq cent cinquante-six millièmes de mètre cube pour la petite roue en X et un mètre cube trois cent vingt-trois millièmes de mètre cube. Cette dernière quantité d'eau sera dirigée à sa destination par une prise effectuée en R avec les dimensions convenables, qui seront déterminées par l'expérience, à l'époque du très bas étiage, et en même temps que la construction des épis projetés sur la rive droite.

Art. V. Il sera établi sur la rive droite du Tarn, près du moulin d'Arthès, un repère spécial marquant la hauteur à laquelle la retenue de ce moulin doit se trouver, pour lui fournir six mètres cubes six centièmes de mètre cube par seconde, au plus bas étiage de la rivière; et tou-

tes les fois que le niveau de cette retenue sera plus bas que cette hauteur, un plus ou moins grand nombre de vannes des nouvelles usines sur la rive gauche devra être fermé, de manière à maintenir les eaux dans le biez d'Arthès, à la hauteur désignée ci-dessus.

Art. VI. Les divers feux mentionnés dans l'article Ier. de la présente ordonnance seront mis en activité dans six ans au plus tard à partir de la notification de la présente, sous peine de déchéance des feux qui ne seraient pas en activité à cette époque.

L'ingénieur des mines surveillera les constructions des usines proprement dites. Après leur achèvement, il en dressera procès-verbal, qui sera déposé aux archives de la commune de Saint-Juéry et à celles de la préfecture du département.

Art. VII. Immédiatement après la construction de chaque usine et avant la mise en activité, il en sera levé un plan circonstancié, en triple expédition et sur l'échelle d'un centimètre par mètre, ou d'un centième.

Un plan général de l'établissement sera aussi levé, en triple expédition, sur l'échelle de deux millimètres par mètre, ou d'un cinq centième.

Une expédition de chacun de ces plans sera annexée à la présente ordonnance, une autre sera conservée à la direction générale des ponts et chaussées et des mines et la troisième restera dans les archives de la préfecture du département.

Art. VIII. Les impétrans seront tenus d'indemniser, d'après évaluation amiable ou fixée d'office par les tribunaux, les sieurs Lacombe père et fils ou leurs représentans, de tous dommages qui seraient reconnus avoir été occasionés à la fabrication de leurs papiers, par la fumée qui pourra s'exhaler des fourneaux dont la construction est autorisée par la présente.

Art. IX. Les impétrans paieront, pour une fois seulement et à titre de taxe fixe, conformément à l'art. 75 de la loi du 21 avril 1810, 300 fr. pour le haut-fourneau, 600 fr. pour les quarante feux de martinets, 200 fr. pour les quatre fourneaux à réverbère, 100 fr. pour les deux fours de cémentation, 150 fr. pour les trois feux de l'usine à cuivre; en tout 1350 fr. : cette somme sera versée entre les mains du receveur de l'arrondissement, dans le délai d'un mois, à partir de la notification de la présente ordonnance.

SUR LES CHEMINS A ORNIÈRES (1);

Par MM. COSTE et PERDONNET.

Tout le monde sait aujourd'hui ce que l'on entend par chemins de fer (*railways*), ou, plus généralement, chemins à ornières. Nous ne pensons pas qu'il soit nécessaire d'en donner une explication. Écrire un mémoire complet sur leur construction et les machines dont on se sert pour les parcourir serait une tâche au dessus de nos forces. Nous nous bornerons donc à réunir dans cet article quelques renseignemens que nous avons recueillis en Angleterre et que nous croyons être peu connus. Nous en publierons Introduction.

(1) Ce mot d'ornières entraîne ordinairement l'idée d'un creux. Dans ce cas, cependant, nous entendons par ornières des espèces de guides creux ou saillans que suivent les roues de chariots. Cette dénomination de routes à ornières est employée par le plus grand nombre des personnes qui s'occupent de cette nouvelle espèce de voies de communication; c'est pourquoi nous l'avons adoptée. Nous n'avons d'ailleurs pas trouvé de terme qui nous parût remplacer convenablement le nom d'ornières.

Les mesures dont nous ferons usage dans ce mémoire sont :

Le pied anglais = 12 pouces anglais = 0m,3047.
Le pouce = 8 lignes = 0m,0254.
Le yard = 3 pieds.
Le mille anglais = 1760 yards = 1608m,774.
L'acre anglaise = 4043m.c.,99.
La livre anglaise = 0k,4531.
Le quintal = 112 livres = 50,747.
La tonne = 20 quintaux = 1014,94.
Le chaldron de Newcastle = 53 quint. = 20689,59.
Le penny (au pluriel pence) = 0 fr. 10 cent.
Le shelling = 12 pences = 1 fr. 26 cent.
La livre = 20 shellings = 25 fr. 15. cent.

d'autres qui nous ont été communiqués en France par les ingénieurs des nouvelles routes en fer que l'on y établit, et que nous avons toutes visitées. Enfin, nous y joindrons des données extraites des meilleurs ouvrages qui traitent des chemins à ornières, au moyen desquelles on classera et comprendra plus aisément les résultats ou dessins que nous avons rapportés de nos voyages.

Les routes à ornières, construites d'abord dans le voisinage d'établissemens d'industrie pour faciliter les transports aux grandes routes, après s'être ainsi répandues considérablement en Angleterre, comme voies auxiliaires, ont fini par devenir elles-mêmes routes principales. On en a aussi établi sur plusieurs lignes en France, en Autriche, en Prusse, aux États-Unis, et un grand nombre sont en projet. Elles paraissent donc devoir acquérir un haut degré d'importance pour tous les pays en général, et offrir plus particulièrement des avantages incalculables à nos usines et nos exploitations de mines, en multipliant les débouchés, en rapprochant les distances entre les matières premières et le combustible et en employant, pour leur propre construction, les produits de nos forges et de nos fonderies.

Coup-d'œil historique.

On sait qu'il existe trois espèces de chemins à ornières, connus sous les noms de chemins *à ornières plates*, chemins *à ornières creuses*, et chemins *à ornières saillantes*.

Historique des ornières.

Les premières routes à ornières, qui, d'après M. Wood (1), furent établies, vers le commence-

(1) *A practical treatise on Rails-roads.* By Nicholas Wood. London. Knigt and Lacey, 1825, p. 33 et suiv.

ment du dix-septième siècle, dans le voisinage de Newcastle-sur-Tyne, pour le transport de la houille aux principales chaussées ou aux canaux, furent en bois et à ornières saillantes. On ne tarda pas à fixer sur le bois des bandes de fer dans les parties où le frottement était le plus grand; peut-être même se servit-on déjà, à une époque assez éloignée, de chemins entièrement construits de cette manière. Ce n'est cependant que vers 1767 que l'on employa la fonte seule à la place du bois. Les premiers essais eurent lieu à Colebrookdale en Shropshire, et les premières ornières en fonte furent des bandes plates, avec un simple rebord pour maintenir les roues sur la ligne du chemin. On sentit néanmoins bientôt l'avantage des ornières saillantes, et on y revint. On substitua, en 1805, à la houillère de Walbotle près Newcastle-sur-Tyne, le fer malléable à la fonte; mais ce n'est que depuis peu d'années que l'usage du métal raffiné s'est répandu.

Historique de la puissance motrice.

On n'employa, dans l'origine, comme puissance motrice que les chevaux.

En 1788 seulement, on imagina d'aider la marche des chariots montant le long des plans inclinés, en faisant agir sur eux, par l'intermédiaire d'une poulie, le poids des chariots descendans.

Machines fixes.

De 1808, datent, suivant M. Wood, les premières tentatives que l'on fit pour se servir de la vapeur. Des machines stationnaires, placées au haut des collines, firent tourner un treuil, sur lequel s'enroulait une corde fixée par une de ses extrémités aux chariots qu'il fallait élever.

Machines locomotives.

En 1811, on vit les premières machines loco-

motives, dont Watt, d'abord, puis Woolf et Trevithick, avaient eu l'idée sans l'avoir appliquée ; elles consistent en une machine placée sur un chariot, qui en fait tourner immédiatement les roues de manière à le mettre en mouvement par la réaction du frottement. Après plusieurs essais infructueux, elles ont fini par être susceptibles d'un emploi assez général sur les routes de niveau ou très peu inclinées.

Tel est l'abrégé historique des principaux développemens qu'a reçus la branche de l'art de l'ingénieur dont nous nous occupons ; d'autres perfectionnemens ont aussi eu lieu, mais ils se sont faits graduellement, de sorte que l'on ne peut aisément fixer l'époque à laquelle ils furent introduits, ou bien ils sont de moindre importance. On a modifié la forme des rails, changé les moyens de les attacher au sol, déterminé le tracé du chemin d'une manière plus conforme au but de cette espèce de route et à la nature des moteurs qu'on y emploie; enfin, on a construit les chariots sur de meilleurs plans, etc., etc. Nous tâcherons, par la suite, de fixer exactement le point où l'on est arrivé.

Les principales routes en fer sur lesquelles nous avons recueilli nos observations en Angleterre sont celles de Liverpool à Manchester, des environs de Glasgow, des houillères de Newcastle-sur-Tyne, de Dudley à Stourbridge. Nous donnerons aussi quelques renseignemens qui nous ont été communiqués sur la route de Darlington à Stokton.

Le tracé des routes en fer étant, ainsi que nous venons de le dire, en relation avec la nature des moteurs, nous ne pouvons en parler

qu'après avoir traité de ceux-ci. Nous allons donc, supposant la direction déterminée, nous occuper de suite de la construction.

Les *rails* (1) étant employés même pour les travaux de terrassement, nous commencerons par les décrire.

§ 1. *De la nature et de la forme des rails.*

Les ornières entièrement plates (*plate-rails*), c'est à dire sans aucun rebord, existent dans un petit nombre de localités où toutes espèces de voitures doivent passer et se croiser. Ainsi, on en voit en Écosse dans les rues de Glasgow, en Italie à Milan, etc. Elles paraissent susceptibles d'être employées, surtout aux montées, où elles peuvent servir aux chariots ascendans, tandis que ceux qui descendent suivent le chemin ordinaire. Ornières plates.

Les ornières plates à rebord sont assez communes dans l'intérieur des mines, et même on en voit encore un assez grand nombre à l'extérieur, dans leur voisinage, et auprès des usines. En Allemagne, elles sont presque exclusivement en usage. Ornières plates à rebord.

Les ornières creuses ont été partout abandonnées.

Les ornières saillantes (*edge-rails*) enfin sont préférées sur toutes les routes de quelque étendue, et l'on sent que la facilité avec laquelle elles sont entretenues dans l'état de propreté leur assure la supériorité sur toute espèce d'ornières plates ou creuses. Il paraît aussi, d'après les expériences Ornières saillantes.

---

(1) *Rail* est un mot par lequel on désigne en anglais les pièces en bois ou barres de métal, qui, placées à la suite les unes des autres sur des lignes parallèles, forment les ornières du chemin. Cette expression étant passée dans notre langue, nous l'emploierons comme synonyme avec celle d'ornière.

de M. Wood, que le frottement sur les routes à ornières plates est plus grand que sur les routes à ornières saillantes, dans le rapport de 73 à 63.

Ornières en bois.

Les ornières en bois ont été presque généralement abandonnées; on en établit cependant assez communément dans l'intérieur des mines de houille de Silésie sur des plans inclinés, où le transport de ce combustible n'a lieu qu'à la descente; elles peuvent aussi servir avec avantage à l'exploitation des forêts et remplacer les canaux de flottage.

Un cheval ne traîne en plaine, sur une route en bois, qu'un peu plus du double de ce qu'il transporte sur une route ordinaire, et environ le quart de ce qu'il peut charrier sur une route en fonte ou en fer.

Comparaison entre les rails en fonte et les rails en fer malléable.

Si la fonte l'a aisément emporté sur le bois pour la fabrication des rails, ce n'est pas sans peine qu'elle a cédé au fer malléable; encore est-elle défendue par quelques ingénieurs. Le fer malléable se montre cependant aujourd'hui sur toutes les nouvelles routes de la Grande-Bretagne, et parmi celles établies dans ces dernières années, nous n'en avons vu qu'une seule de quelque étendue, construite en fonte; elle existe, pour le service de plusieurs houillères, dans le voisinage de Newcastle-sur-Tyne, et a été posée sous la direction de M. l'ingénieur Thomson. Les nouvelles routes de Saint-Étienne à Lyon et d'Andrezieux à Roane seront également en fer malléable, à ornières saillantes; celle de Saint-Étienne à Andrezieux est en fonte.

Les chemins en fer malléable coûtent moins que ceux en fonte, car si le quintal de fer est plus cher que celui de fonte, comme la ténacité de ce

métal permet d'en fabriquer les rails plus légers que ceux en fonte, il arrive que, tout compensé, une certaine étendue de route en rails de fer malléable revient à un prix moins élevé qu'une ligne de même longueur en rails de fonte : cela est vrai pour la France comme pour l'Angleterre.

Le fer malléable a ce grand avantage sur la fonte, qu'il ne se casse ni ne se ronge comme elle. Nous avons vu des chemins de fonte aux environs de Newcastle-sur-Tyne, après vingt ans de service, à moitié rongés et couverts d'inégalités qui en augmentaient considérablement le frottement : celui de Saint-Étienne à la Loire, quoique en activité seulement depuis peu de temps, et bien que l'on en rechange chaque année un certain nombre de rails devenus incapables de servir, a beaucoup souffert dans les parties courbes.

Les rails en fonte, se composant d'une croûte extérieure durcie par le refroidissement rapide qu'ils ont éprouvé lorsqu'on les a coulés, et d'une partie intérieure plus tendre, dès que la croûte extérieure est usée ou brisée, la partie intérieure se détruit rapidement.

Les rails en fer forgé étant susceptibles d'être fabriqués plus longs que ceux en fonte, cela diminue, sur les chemins en fer, le nombre des joints, et par conséquent les causes de cahots.

On avait reproché au fer malléable de s'oxider plus aisément que la fonte, de se laminer et de plier. On a reconnu que si, conformément aux théories chimiques, le fer s'oxidait plus aisément que la fonte lorsque les rails étaient jetés en tas sur les bords de la route, ou lorsque, étant en place, on les employait rarement, il n'en était

plus de même lorsqu'ils servaient sur un chemin très fréquenté, soit que l'oxidation fût prévenue par le frottement des chariots ou l'ébranlement auquel ils donnaient lieu, soit par toute autre raison. Nous avons vu quelques rails en fer malléable qui avaient souffert par exfoliation. On nous a assuré cependant, dans divers endroits, que les rails de bonne qualité ne paraissaient pas, après plusieurs années d'usage, éprouver les effets de cette cause de destruction.

Portés sur des supports également éloignés, les rails en fer malléable plient sous une plus faible charge que les rails en fonte; mais, en rapprochant les points d'appui convenablement, on pare à cet inconvénient. D'après les expériences de M. Wood, les rails en fonte de bonne qualité, fixés à des coussinets distans de 4 pieds, ne supportent pas un poids dépassant six tonnes sans se briser; ceux en fer malléable, lorsque les coussinets sont à 3 pieds l'un de l'autre, perdent leur élasticité sous une pression qui est aussi de près de six tonnes.

Ornières en bois et fer.

Nous n'avons pas vu en Angleterre d'ornières en bois et fer; elles ne peuvent être avantageuses que dans les pays où le bois est très bon marché et le fer très cher : aussi est-ce la réunion de ces deux dernières conditions qui les a fait adopter pour une route de la longueur de 38 $\frac{2}{3}$ milles anglais (62 kilom.), entre la Moldau et le Danube, construite dernièrement par M. A. de Gerstner, et pour de nouvelles voies de communication que l'on se propose d'établir sur une très grande étendue de pays dans les États-Unis d'Amérique. Nous pensons que ce genre de chemins est surtout à conseiller lorsqu'au bas prix du

bois et au prix élevé du fer se joint la circonstance d'un transport peu considérable. On en a construit un, à très peu de frais, sur une longueur de 300 mètres, auprès de Saint-Étienne, pour le service d'une houillère; il aboutit à la route en fonte de Saint-Étienne à Andrezieux.

Les rails généralement adoptés en Angleterre pour les chemins en fer malléable (Glasgow, Liverpool, Dudley, Darlington) ont la forme indiquée par les *fig.* 1, 2 et 3, Pl. IX. Forme et dimensions des rails généralement adoptés en Angleterre.

On voit que le rail s'élargit dans sa partie supérieure; c'est sur la surface *ab*, bien unie, que frottent les roues des chariots. Si cette surface était trop étroite, le rail formerait, ainsi qu'on l'a éprouvé, des enfoncemens ou cannelures dans les jantes de roues des chariots. A la partie inférieure du rail est un bourrelet *cd*, qui s'étend dans toute sa longueur, diminuant ou augmentant de hauteur avec lui; ce bourrelet sert à fixer l'ornière au sol par l'intermédiaire d'autres pièces dites *chairs*, comme nous l'expliquerons plus loin, et lui communique une plus grande force de résistance. La hauteur du rail est la moindre aux points *s* et *s'*, par lesquels la bande de fer repose sur des appuis; elle croît entre deux, proportionnellement à l'effort qu'exercerait un poids appliqué successivement à chacun des points intermédiaires : d'où il suit que la courbe *soro's'* est une ellipse (1).

Nous avons vu fabriquer cette espèce de rails chez MM. Losh Wilson et Bell, près de Newcastle. Mode de fabrication de ces rails.

On reçoit le fer du Staffordshire ou du pays de

(1) Voyez le résumé des leçons données à l'École royale des ponts et chaussées, par M. Navier, première partie, page 274.

Galles en barres plates d'environ 15 pieds de longueur et de 4 à 5 pouces de largeur et 1 pouce d'épaisseur ; on le coupe en morceaux de 20 pouces de longueur. On réunit quatre de ces morceaux, on les réchauffe dans un four à réverbère, puis on passe les paquets, d'abord sous un dégrossisseur à grandes cannelures ovales, puis sous un système de cylindres, qui les convertit en une barre carrée d'environ 20 lignes de côté et 7 à 8 pieds de longueur: celle-ci, enfin, est immédiatement étirée sous des laminoirs, qui lui donnent la forme des rails.

Le fer reçoit d'abord dans des cannelures A et B la forme d'un rail, qui aurait même hauteur dans toute sa longueur.

La surface de la cannelure, qui forme le plan supérieur *ab*, *fig.* 1, 2 et 3, Pl. IX du rail, est verticale et perpendiculaire aux axes des laminoirs ; les parties de la cannelure qui forment les surfaces latérales sont conséquemment parallèles à ces axes et horizontales : c'est pourquoi nous dirons que le rail, lorsqu'il passe dans les cannelures A et B, est couché sur le côté. Après l'avoir étiré dans la cannelure A, on le retourne pour le passer dans la cannelure B, en sorte que sa face latérale, qui avait été précédemment en contact avec le cylindre supérieur, soit cette fois-ci en contact avec le cylindre inférieur et réciproquement. Posant ensuite le rail verticalement, c'est à dire dans la même position où il se trouve lorsqu'il est établi sur le chemin, on le passe par une troisième cannelure C. Cette cannelure est de forme particulière, la *fig.* 4 en donne une section par un plan vertical mené suivant les axes des laminoirs. Les surfaces, dont *ab* et *a'b'* représentent des cou-

pes, sont cylindriques, comme ordinairement; mais l'une d'elles, la surface *a b*, est concentrique avec le cylindre-laminoir auquel elle appartient, et l'autre, excentrique avec le cylindre inférieur. Il suit de là que lorsque les laminoirs marchent, la distance *dd'* entre les surfaces *ab* et *a'b'* varie constamment, et leurs dimensions, ainsi que la position de l'axe du laminoir inférieur, sont combinées de telle manière que chaque tour donne à une partie de l'arête inférieure du rail la forme courbe qu'il faut produire : ainsi, le rail ayant 15 pieds de longueur et la distance entre les minimums de hauteur étant 3 pieds, les laminoirs feront cinq tours, tandis que la barre entière passera une seule fois. Vis à vis de la cannelure C, du côté par lequel sort la barre, est un guide que l'on fait constamment appuyer et frotter contre le cylindre inférieur au moyen d'un contre-poids P, *fig.* 5. Le rail est enfin étiré dans deux dernières cannelures D et E, en étant couché sur le côté comme lorsqu'on l'a passé par les cannelures A et B. Les cannelures D et E ont pour largeur la plus grande hauteur du rail, et elles sont creusées de manière à en former le bourrelet.

Cette opération d'étirage en rails ondulés paraît difficile, et elle nuit souvent à la qualité du fer. On voit cependant qu'il y a, en définitive, économie à ne pas se servir de rails d'égale hauteur, puisqu'alors celle-ci devrait être la même que la hauteur maxima des rails ondulés, et que, par conséquent, on augmenterait le poids de la matière première sans nécessité. L'expérience a d'ailleurs prononcé sur cette question; car partout en Angleterre on adopte maintenant la nou-

velle espèce de rails, quoique le brevet en augmente le prix.

Rails en fer malléable employés en France.

Sur les nouvelles routes en fer de France, on a cependant choisi les rails d'égale épaisseur. Les *fig.* 6 et 7 sont des coupes des rails du chemin de Saint-Étienne à Lyon, ceux du chemin de MM. Mellet et Henry sont semblables.

Les rails français sont laminés, dans les usines du Creusot et de Terre-Noire, de la même manière que les rails anglais; seulement la forme des rails français rend l'opération plus simple.

Le fer employé pour la fabrication des rails du grand chemin de Liverpool à Manchester, et qui sort en partie de l'usine de Pen-y-Darran, est du fer n°. 2. (Voyez le Mémoire sur la fabrication du fer, *Annales*, 4e. livraison de 1829, page 29.)

Essais des rails du chemin de Liverpool.

Les rails doivent, avant d'être employés, subir certaines épreuves. Nous avons vu, à l'usine de Pen-y-Darran, près Merthyr (pays de Galles), essayer des rails en fer malléable pour la route de Liverpool. On les plaçait pour cela sur des appuis éloignés de 3 pieds, et on leur faisait porter un chariot à quatre roues contenant dix-huit tonnes. Admettant que dans ces dix-huit tonnes on n'ait pas compris le poids du chariot, nous aurons environ cinq tonnes de pression au point de contact de chaque roue sur le rail. Les chariots dont on compte se servir sur ces rails ne pèsent pas, avec leur charge, au delà de 3 tonnes; mais les machines locomotives, qui seront aussi à quatre roues, pèseront probablement, y compris l'eau et le charbon nécessaires à la chaudière, de huit à dix tonnes.

On fait à l'usine de Horseley, dans le Stafford-

shire, des rails en fonte pour les mines ou usines, de deux espèces. Les uns, pesant 56 livres par yard, sont soumis à un essai de quatre tonnes de pression sur chaque roue; les autres, du poids de 84 liv. par yard, supportent jusqu'à sept tonnes.

M. Wood pense que l'on ne doit pas faire porter habituellement aux rails en fonte un poids qui dépasse le tiers de celui sous lequel ils se brisent, mais que l'on peut exposer les rails en fer malléable à l'effet d'une charge qui se rapproche beaucoup plus de la limite de leur élasticité.

Essais des rails du chemin d'Andrezieux à Roane.

Les rails du chemin de fer d'Andrezieux à Roane devront, étant posés sur des supports éloignés de $0^m,90$, recevoir, sans se briser ni se gercer, le choc d'un poids de 2,000 kil. tombant de la hauteur de $0^m,70$. La face de cette masse de 2,000 kilogrammes, frappant sur le rail, doit présenter une superficie de $0^m,20$, et le rail, pliant à la suite de cette épreuve, doit pouvoir se redresser à froid.

L'épreuve que l'on fait subir aux rails, en les chargeant d'un certain poids, leur nuit moins que celle à laquelle on les soumet lorsqu'on les essaie par le choc; mais il est bon d'observer qu'ils doivent résister aux effets des cahots aussi bien qu'à ceux de la pression de chariots : ce qu'il y a de mieux à faire du reste est de ne pas éprouver tous les rails dont on veut se servir, mais seulement quelques uns, pris au hasard parmi ceux qui ont été fabriqués avec le même fer et par le même procédé.

La longueur des rails anglais en fer malléable est de 15 à 18 pieds; il convient de les faire le plus longs possible, afin de diminuer le nombre des joints. On a proposé de les souder ensemble sur place; nous n'avons vu cependant ce procédé

employé nulle part. Les autres dimensions sont données par les *fig.* 1, 2 et 3 ; la distance entre les points d'attache est de 3 pieds ; la largeur de *ab* est de $2\frac{1}{4}$ à $2\frac{1}{2}$ pouc., ou quelquefois seulement 2 pouc.

Poids par yard ou par mètre des différentes espèces de rails.

Le poids par yard de longueur, pour les routes en fer de la seconde classe (Glasgow, Dudley), est. . . . . 28 livres :
cela fait, par mètre. . . . . 13,78 kilog.

Pour les routes en fer de première classe (Liverpool). . . . . 35 livres :
cela fait, par mètre. . . . . 17,35 kilog.

Les rails de la route de St.-Étienne à Lyon ont :

	p.	p°.	mètr.
Hauteur.	»	3	0,075
Largeur à la partie sup. .	»	2	0,050
Longueur.	15	»	4,570

Le poids par yard, environ $26\frac{1}{2}$ livres :
cela fait, par mètre. . . . . 13 kilogrammes.

Chaque bande sera soutenue par cinq supports.

Les rails de la route d'Andrezieux à Roane auront 5 mètres de longueur ; ils pèseront aussi 13 kilog. par mètre, mais ils seront posés sur six supports.

Forme et dimensions des rails en fonte.

Les rails en fonte sont de forme diverse : les meilleurs ont une forme analogue à celle des rails en fer malléable ; ils s'élargissent, comme eux, à la partie supérieure, et prennent aussi à la partie inférieure la courbure d'une ellipse, dont le sommet est également éloigné des deux points d'appui. Ils n'ont généralement que 4 pieds anglais de longueur; ce qui est aussi la distance entre les supports. On les coule ordinairement de seconde fusion.

Les dimensions des rails du chemin en fonte établi récemment par M. Thomson aux environs de Newcastle, et celles des rails du chemin de

Saint-Étienne à Andrezieux, sont les suivantes :

	Chem. Th.			Chem. de St.-Ét.		
	p.	p°.	mèt.	p.	p°.	mèt.
Plus grande hauteur.	»	4	0,10	»	4	0,10
Larg. à la partie supérieure.	»	1 1/2	0,04	»	2	0,05
Longueur	4	»	1,22	4	»	1,22
	par yard.	p. mèt.		p. yard.	p. mèt.	
Le poids	42 l.	20k,82		43 liv.	21k,66.	

Dans les ornières en bois et en fer, les bandes de métal sont liées aux solives par des clous ou vis à tête perdue. Forme et dimensions des ornières en bois et fer.

Dans le chemin de la Moldau :

	p.	p°.	mèt.
La largeur des bandes de fer est de.	»	2	0,05
Leur épaisseur.	»	1/3	0,01
La longueur de chaque bande. . . .	18	»	5,48

Le bois est du pinastre, du pin ou du sapin. Les rails, soit en fer, soit en fonte, sont fixés au moyen de pièces en fonte appelées en anglais *chairs*, et en français *siéges*, *coussinets* ou *supports*, qui se lient elles-mêmes à de gros dés en pierre placés de distance en distance sur la ligne des ornières. Afin d'éviter les répétitions, nous ne décrirons ces siéges ou coussinets que lorsque, dans le paragraphe suivant, nous expliquerons la manière dont les rails s'y attachent.

Travaux de terrassemens et pose des rails.

Nous avons eu occasion d'étudier ces travaux sur une nouvelle route en fer, près de Glasgow. D'après les renseignemens que nous avons recueillis, le même procédé a été suivi sur toutes les autres routes en fer de la Grande-Bretagne.

Le tracé étant terminé, il faut premièrement niveler le terrain ; quelquefois même, lorsqu'on a à passer des marais, comme c'est le cas entre

Manchester et Liverpool, il est, avant tout, nécessaire d'assécher le sol par des saignées.

Nous n'avons pas à entrer dans le détail des travaux de terrassemens, puisque l'on suit, à cet égard, les mêmes procédés pour les chemins de fer que pour les routes ordinaires.

Établissement des lignes de rails sur les diverses espèces de terrains.

Les lignes de rails provisoires ne sont pas posées, pour le transport des déblais, sur tous les terrains à la même distance. Dans les terrains fermes, on les établit comme elles doivent l'être ensuite définitivement, à 4 $\frac{1}{2}$ pieds de distance, et on maintient les rails à l'aide de simples traverses en bois. Dans les terrains tourbeux, on les éloigne seulement de 3 $\frac{1}{2}$ pieds, et on attache les rails à des traverses en bois, qui elles-mêmes reposent sur des planches couchées suivant la même direction que les rails.

Chariots pour emmener les déblais.

Les chariots pour emmener les déblais ne sont pas semblables à ceux employés sur les routes en fer lorsqu'elles sont achevées. Ceux dont on se sert lorsque les rails sont éloignés de 4 $\frac{1}{2}$ pieds contiennent 2 yards cubes (environ 2^{m} cubes), pesant environ 2 $\frac{1}{2}$ tonnes. Ils sont de deux espèces : les uns versant par derrière, *fig.* 8, les autres de côté, *fig.* 9 ; les premiers servent à jeter les déblais à l'extrémité de la route pour la continuer, les seconds à les répandre sur les côtés pour former les talus. On peut y atteler le cheval indifféremment devant ou derrière.

Si les lignes de rails ne sont éloignées que de 3 $\frac{1}{2}$ pieds, on se sert de chariots ne contenant que 1 yard cube, mais d'ailleurs de même construction que les précédens.

Section des remblais.

La *fig.* 10 donne la section des remblais de la route en fer près de Glasgow ; la *fig.* 11, des rem-

blais de la route de la Moldau. On voit que, dans ce dernier cas, on a construit un petit muraillement en pierre sèche au centre du remblai, pour parer à l'inconvénient du tassement. Ce muraillement remplit son but, mais est dispendieux. de routes en fer.

La pose des rails a lieu sur remblais ou sur un terrain solide que l'on a seulement aplani. Nous allons la décrire dans la première hypothèse. Pose des rails.

Après avoir nivelé et suffisamment affermi le sol, on détermine les lignes parallèles entre lesquelles est compris le chemin, c'est à dire la projection horizontale de chacune des lignes qui partagent les ornières en longueur par le milieu. De 3 en 3 pieds ($0^{m},91$), on marque des points qui correspondent aux attaches des rails, et l'on pose de gros dés parallélipipèdes en pierre, dont l'axe vertical doit se confondre avec la perpendiculaire à l'horizon élevée de chacun de ces points. Ces dés, dits en anglais *stones*, sont tous de mêmes dimensions. Il importe surtout que leur surface supérieure soit bien dans un même plan horizontal. Chacun de ces blocs est percé de deux trous verticaux symétriquement placés, et dont les axes sont dans un même plan perpendiculaire à la direction du chemin, et passant par l'axe du dé. On remplit ces trous avec des chevilles de bois ; sur le dé on pose une petite pièce en fonte nommée *coussinet* (*chair*) (1). La *fig.* 12 offre une coupe de ce coussinet et du rail en place par un plan perpendiculaire à la direction du chemin, et passant par l'axe du dé ; la *fig.* 13

(1) Nous adopterons dorénavant constamment cette expression pour désigner la pièce de fonte qui lie le rail au dé.

en est une projection sur un plan horizontal. Le rail, dans la *fig.* 12, est ombré en lignes inclinées, et le coussinet en lignes horizontales. On voit que le coussinet a deux parties horizontales percées de trous *o,o'*, par lesquels passent des clous qui entrent dans les chevilles en bois du dé, et le lient ainsi au coussinet. Le rail est maintenu entre deux parties saillantes *n,n'*. *cdef* est un vide dans lequel on introduit une cheville en fer qui traverse le chair suivant la longueur de la route, et empêche le rail de vaciller. Cette cheville est représentée, *fig.* 14. Elle est pyramidale, afin qu'on puisse l'enfoncer plus ou moins, les trous n'étant jamais parfaitement égaux; elle agit alors comme un coin.

Sur la nouvelle route de Glasgow, les extrémités des rails sont entaillées de manière à s'engager, comme l'indique la *fig.* 15; sur la route de Liverpool, on les a simplement posés bout à bout. Le premier mode de jonction est certainement le meilleur; mais il augmente beaucoup le prix des rails.

Sur la nouvelle route de Lyon à Saint-Etienne, les coussinets sont liés aux dés par de simples chevilles de bois. Le rail entre dans le coussinet par un bourrelet *b*, *fig.* 16 et 17, et lui est fixé au moyen d'un coin de bois *c*, chassé entre deux. Les rails de la route de Roane à Andrezieux seront liés aux chairs de la même manière.

Les rails en fonte du chemin de Saint-Étienne à la Loire sont liés aux coussinets par de simples chevilles qui traversent le coussinet et le rail; mais cette méthode d'attache étant imparfaite, nous ne nous y arrêterons pas. Nous ne parlerons

point également de plusieurs autres qui ne sont pas moins vicieuses.

L'écartement entre les rails, pris sur une perpendiculaire à la ligne du chemin, du milieu d'un rail au milieu du rail parallèle, est, sur la route de Liverpool et sur toutes celles de France, de 4 pieds 10 pouces ($1^m,46$); sur la route de Glasgow et sur celle de M. Thomson, près Newcastle, de 4 pieds 8 pouces ($1^m,41$).

Dimensions et poids des coussinets.

Le poids des coussinets en fonte de la route de Liverpool varie entre 10 et 12 livres ($4^k,53$ à $5^k,44$) : celui des coussinets de la route de Glasgow est d'environ 8 à 10 livres ($3^k,62$ à $4^k,53$). Les coussinets de la route de Saint-Étienne à Lyon pèsent, en moyenne, 6 livres (3 kil.).

Dimensions des chevilles.

Les chevilles qui, sur la route de Liverpool, servent à lier les rails aux coussinets, ont 9 pouces ($0^m,23$) de longueur.

Dimensions des dés.

Les dimensions des dés sont :

Sur la route de Liverpool :

Hauteur.	1 p. » p°.	$0^m,30$
Section horizontale. . .	2 p. de côté.	$0^m,61$ de côté.

Sur la route de Glasgow :

Hauteur.	1 p. » p°.	ou $0^m,30$
Section horizontale.	1 p. sur 1 1/2 p.	ou $0^m,30$ sur $0^m,45$.

Sur la route de Saint-Etienne à Lyon :

Hauteur.	1 p. » p°.	$0^m,30$
Section horizontale.	1 p. de côté.	$0^m,30$ de côté.

Sur la route d'Andrezieux à Roane, on compte en diminuer la hauteur et en augmenter la longueur, suivant la ligne du chemin.

Les rails étant posés définitivement, on remplit l'espace compris entre les dés avec des pierres

cassées en morceaux de la grosseur d'un œuf ou avec de la terre bien tassée.

Lorsque l'on établit les rails sur terrain solide, on creuse des deux côtés de la route de petits fossés d'environ 75 centim. de largeur, et l'on pose dans ces fossés les dés en alignement, de manière que leur surface supérieure soit à peu près au même niveau que le sol. On assujettit ensuite les coussinets aux dés et les rails aux coussinets, comme cela a été décrit précédemment.

Manière de passer d'une simple voie sur une double voie et réciproquement.

Les chemins en fer sont ou à deux voies, et alors une voie sert pour les chariots qui vont dans un sens, et l'autre pour ceux qui marchent dans l'autre direction; ou à une seule voie, et, dans ce second cas, il faut avoir des endroits déterminés pour la rencontre (*siding places*), où l'on établit une double voie.

Nous avons à expliquer comment l'on peut passer d'une voie sur une autre.

Soient AA', *fig.* 19, la voie simple, BB' et CC' les deux voies; KK' est une pièce tournant autour du centre K', appelée en anglais *switch*, LL' une pièce analogue. Les rebords des roues étant en dedans, si l'on veut faire passer le chariot de AA' sur BB', on place les petites pièces mobiles comme l'indique la figure, et alors l'effet désiré a nécessairement lieu. On procéderait d'une manière analogue pour passer sur CC' : ce serait la pièce mobile LL' que l'on rapprocherait du rail au lieu de KK', et KK' qu'on éloignerait.

Au point où se rencontrent les quatre rails, on place des pièces en fonte, *fig.* 20 : deux rails viennent aboutir en *b* et *c*, et deux autres en *b'* et *c'*.

On voit qu'au moyen de dispositions de ce genre on peut passer de la ligne principale d'un

chemin à simple voie sur les lignes auxiliaires, et réciproquement, ou d'une ligne à l'autre d'un chemin à double voie.

C'est un inconvénient assez grave que d'avoir à placer dans une position convenable les petites pièces tournantes, toutes les fois qu'un convoi change de ligne. La *fig.* 21 indique une disposition des rails au moyen de laquelle les chariots se croisent sur une route à simple voie sans qu'on ait à se servir de pièces mobiles. Aux points où deux rails se rencontrent, *dd'*, *ee'*, ils sont séparés comme le montre la *fig.* 22; aux points de jonction de quatre rails, on place les pièces en fonte dont nous avons déjà parlé.

Des chariots.

Les chariots employés sur les chemins de fer n'offrent rien de particulier, si ce n'est que lorsqu'ils doivent rouler sur des ornières saillantes, les jantes des roues présentent en dedans ou en dehors, mais presque toujours en dedans, un rebord *d e f*, *fig.* 23, qui les empêche de sortir de l'ornière. Ce rebord est ordinairement un peu évasé, et la jante de roue est elle-même légèrement conique. Ils portent aussi assez généralement un frein qui sert à modérer leur vitesse aux descentes. La *fig.* 23 représentant un chariot de la forme de ceux dont on se sert le plus ordinairement pour le transport de la houille, *a b c* est le frein.

Leur forme dépend de l'espèce de marchandise qu'ils sont destinés à transporter.

On règle leurs dimensions de manière à diviser la charge convenablement sur plusieurs cha-

riots plutôt que de l'accumuler sur un seul, afin de ne pas trop fatiguer les rails.

Poids que renferment les chariots.

La plupart des chariots dits en anglais *waggons*, employés pour le transport de la houille, contiennent 1 chaldron, mesure de Newcastle, ou 53 quintaux (2689 kil.) (Killingsworth près Newcastle, Liverpool, Glasgow). Le modèle des chariots du chemin de Saint-Étienne à Lyon n'est pas encore entièrement arrêté; ceux du chemin en fonte de Saint-Étienne à Andrezieux renferment environ $2\frac{1}{2}$ tonnes (2537 kil.). Les chariots de la route en fonte établis par M. Thomson près de Newcastle portent $\frac{1}{2}$ chaldron, ou $26\frac{1}{2}$ quint. (1345 kil.).

La caisse de ces chariots se compose de planches ou de plaques de tôle clouées sur un cadre de bois. Elle s'ouvre par derrière ou en dessous. Dans le premier cas, la paroi postérieure du chariot est ordinairement retenue par de simples clavettes; dans le second cas, le fond du chariot est formé de deux planches, qui sont susceptibles de se mouvoir horizontalement en sens contraire, suivant sa longueur : chacune de ces planches porte au dessous une crémaillère, et on les sépare l'une de l'autre au moyen de petits pignons, qui engrènent dans les crémaillères et que l'on fait tourner à l'aide de grandes roues que l'on pose sur l'axe, au point de déchargement.

Roues.

Les roues des chariots sont généralement en fonte et coulées en coquille (*case-hardened*): comme elles doivent joindre à la dureté une certaine ténacité, la partie trempée n'a jamais qu'une petite épaisseur.

Les roues non trempées paraissent s'user avec une grande rapidité. D'après des expériences de

M. Wood, le frottement avec des roues trempées est au frottement avec des roues non trempées comme 39 : 63.

Le retrait qu'éprouve la fonte en se refroidissant fait souvent briser les roues. Nous en avons vu sur les chantiers de MM. Seguin, à Lyon, dans lesquelles, pour éviter cet inconvénient, on avait partagé l'anneau circulaire qui reçoit l'essieu en trois parties, en laissant à chaque division des vides, que l'on remplissait ensuite avec des coins de bois. (Voy. *fig.* 24.)

Il y aurait de l'avantage, lorsque la main-d'œuvre n'est pas très chère, à employer des roues en bois avec un contour en fer malléable. M. de Gerstner en a le premier fait l'essai avec succès ; mais l'on ne s'en est pas encore servi en Angleterre pour les chariots. Nous verrons plus loin qu'on les a substituées aux roues en fonte pour les machines locomotives.

Essieux.

Le diamètre des roues est généralement de onze à treize fois celui des essieux. Il varie entre 2 pieds 9 pouces ($0^{m}83$) et 3 pieds ($0^{m},91$).

On conçoit que l'avantage que procure l'emploi des roues est d'autant plus grand, que le diamètre de celles-ci est plus considérable relativement au diamètre des essieux.

On préfère généralement les essieux mobiles aux roues mobiles. Il est ainsi plus facile de conserver aux chariots une voie constante.

Les essieux sont en fer malléable.

Essai des essieux.

On les essaie en laissant tomber sur quelques uns d'entre eux, pris au hasard, un poids constant d'une certaine hauteur, ou en leur faisant supporter une certaine charge. Les essieux qui serviront aux chariots de la route d'Andrezieux à Roane auront 67,5 millimètres de diamètre ;

posés sur des supports éloignés de $1^{m},50$, ils ne devront commencer à plier que sous un poids de 7600 kil. appliqué au point milieu.

Chariots suspendus sur ressorts.

Les caisses des chariots de la route en fer des houillères de Bolton, près Manchester, route qui doit servir d'embranchement à la grande route de Liverpool à Manchester, reposent sur ressort. On nous a dit que c'étaient les seules de cette espèce qui existassent en Angleterre. On diminue ainsi le nombre des cahots, les rails sont moins fatigués et on prétend en outre que la résistance à vaincre est moindre (1).

Sur la route de Glasgow, des chariots contenant 1 chaldron (2689 kil.), et dont la caisse est en bois, pèsent 1 tonne (1015 kil.); des chariots à caisse en fer pèsent 18 quintaux (2) (914 kil.). Nous n'avons pu savoir quel était le poids de leurs différentes parties.

Les chariots de 1 chaldron à caisse en bois, employés aux environs de Newcastle, pèsent de 23 à 24 quintaux, sur lesquels il faut compter environ 8 quintaux (406 kil.) pour les quatre roues, 3 quintaux (152 kil.) pour les essieux, et 12 quintaux (609 kil.) pour la caisse.

Les chariots de la route de Bolton, près Manchester, pèsent 30 quintaux (1522 kil.), et leur charge 42 quintaux 96 livres (2175 kil.).

Les petits chariots en bois de M. Thomson ne pèsent qu'un peu plus de 12 quintaux, sur lesquels il faut compter 5 quintaux (254 kil.) pour la caisse en bois, 5 quintaux (254 kil.) pour les

(1) M. Edgeworth a prouvé, par des expériences, l'efficacité des ressorts pour aider au tirage. (V. *Essai sur les Voitures,* page 153.)

(2) Ce nombre nous paraît faible, nous le tenons cependant de l'ingénieur de la route.

roues, 1 quintal (50 kil.) pour les essieux, 1 $\frac{1}{4}$ livre pour les boîtes de roues, et 1 quintal 1 livre (0k56) pour les clous ou autres parties en fer de l'appareil.

Le poids des roues en bois avec contour de fer malléable, de dimensions ordinaires, construites par MM. Seguin, est de 80 kilog., tandis que celui des roues ordinaires en fonte est de 98 à 104 kilog.

Moyens divers pour graisser les essieux.

C'est une grande difficulté que de maintenir les essieux constamment graissés; on a imaginé de placer au dessus, dans le creux d'une pierre filtrante, de l'huile, qui, traversant les pores de la pierre, tombe sur l'essieu. On a trouvé à cette méthode l'inconvénient que l'huile passait souvent sur les côtés. On pourrait y obvier en les recouvrant avec un enduit imperméable; mais M. Stephenson, ingénieur de la route de Liverpool, regarde comme meilleur l'appareil suivant, dont il faisait l'essai lors de notre passage en cette ville. Un vase de fer, *fig.* 25, est placé au dessus de l'essieu; au centre est un tube vertical ouvert aux deux bouts; la cavité autour du tube est remplie d'huile; on pose des mèches *a b c* et *a'b'c'*, de manière qu'elles pendent en *c* et *c'* au dessus de l'axe.

Ces mèches forment une sorte de siphon, et on augmente ou diminue leur effet à volonté en augmentant ou diminuant la partie qui en représente la longue branche. On a ainsi fait varier la quantité d'huile tombant dans un certain temps d'une goutte à cinquante.

Frottement des chariots.

Il était intéressant de connaître les effets du frottement que le moteur doit vaincre.

D'après un grand nombre d'expériences faites par M. Wood avec beaucoup de soin sur le chemin en fer de Newcastle, le frottement ne varie

pas avec la vitesse ; il ne dépend que du poids du chariot. Il est d'environ $\frac{1}{200}$ à $\frac{1}{220}$ de la charge sur un chemin de niveau et sec avec les chariots ordinaires, dans lesquels le rapport du diamètre de l'essieu à celui de la roue est 1 : 12.

M. Tredgold le porte à peu près au double (1); mais d'autres auteurs confirment le résultat de M. Wood, et, d'après quelques essais qui ont eu lieu l'année dernière sur la route de Glasgow, on l'a trouvé de $\frac{1}{220}$ si le chemin est sec, et $\frac{1}{300}$ s'il est humide. MM. Jas. Walker et J.-U. Rastrick, chargés, par la société des actionnaires du chemin de Liverpool à Manchester, d'étudier les mérites comparatifs des différens moteurs, ont adopté pour coefficient du frottement $\frac{1}{180}$ (2).

«Toutes les recherches faites sur le frottement, dit M. F. de Gerstner (3), ont appris qu'il n'était pas rigoureusement proportionnel aux pressions, mais qu'il est plus grand lorsque les pressions sont faibles que lorsqu'elles sont fortes.» On peut cependant, dans la pratique, considérer le frottement comme proportionnel à la pression.

Le frottement est le même sur le fer malléable que sur la fonte. M. Wood nous a dit que, dans quelques expériences faites à ce sujet, il parut

---

(1) Voyez *Traité pratique sur les chemins en fer*, de Th. Tredgold, traduit par Duverne, 1826, page 55 et suiv.

(2) Voyez *Report to the directors of the Liverpool and Manchester railway on the comparative merits of loco-motive and fixed engines*. By Jas. Walker and J.-U. Rastrick, Esq. civil Engineers. 1re. ed. Liverpool, 1829, p. 8.

(3) Voyez *Mémoire sur les grandes routes, les chemins de fer et les canaux de navigation*; traduit de l'allemand de M. F. de Gerstner, et précédé d'une introduction par M. Girard, Ingénieur en chef des ponts et chaussées, page 45. Paris, 1827, chez Bachelier.

être plus grand sur le fer malléable; mais on s'aperçut que cela tenait à ce que les rails en fer pliaient, et, en rapprochant les supports convenablement, on obtint le résultat énoncé.

Le frottement sur une route pavée est $\frac{1}{30}$, sur une des meilleures routes à la Mac-Adam, $\frac{1}{35}$. D'après ce nombre, et adoptant $\frac{1}{200}$ comme coefficient du frottement sur les chemins de fer, l'avantage des routes en fer sur les routes ordinaires, eu égard seulement à l'effet utile du moteur, serait de 7 à 1 et $7\frac{1}{2}$ à 1.

Le frottement dont nous venons de donner la valeur approchée se compose de celui qui s'exerce sur l'essieu et de celui qui a lieu entre la circonférence de la roue et l'ornière. D'après les expériences de M. F. de Gerstner, faites, à la vérité, en petit, et d'après des formules qu'il a établies par le raisonnement, le frottement sur les barres est toujours très petit comparativement au frottement sur les essieux. Dans un premier cas, il ne fut que d'environ $\frac{1}{25}$ de celui-ci: la charge ayant été augmentée jusqu'à ce qu'elle devînt près de neuf fois ce qu'elle était, le frottement des barres est devenu environ $\frac{1}{10}$ du frottement sur les essieux. M. Tredgold dit que la résistance qui s'opère sur un chemin de fer à la surface des ornières, quand elles sont bien polies et bien propres, est presque nulle (1).

Les personnes qui désireraient plus de détails sur ce sujet les trouveront dans le mémoire de

(1) Voyez *Traité pratique sur les chemins de fer* de Th. Tredgold, traduit par T. Duverne, 1826, page 79.

M. de Gerstner, et dans l'*Essai sur les routes et les voitures* de M. Edgeworth (1).

Des moteurs.

Les moteurs employés sur les chemins de fer sont de trois espèces :

Les chevaux,

La gravité,

La vapeur.

Des chevaux.

Les chevaux sont attelés et agissent comme sur les routes ordinaires.

Effet moyen. Maximum du cheval sur les routes en fer.

D'après M. Wood et d'autres auteurs, on obtient l'effet maximum d'un cheval sur un chemin de fer en plaine, lorsqu'on lui fait parcourir 2 milles anglais (3,200^{m}.) à l'heure et qu'on le fait travailler dix heures par jour : il traîne alors 10 tonnes (10,150 kil.). L'effort est le même que pour tirer 200 tonnes à 1 mille.

Sur la route en fer dite *monkland-road.*, près Glasgow, un cheval traîne en plaine de 15 à 16 tonnes, et travaille huit heures par jour, parcourant dans cet espace de temps 24 milles, dont 12 à vide : cela correspond à un transport de $12 \times 15 + 12 \times 4 = 228$ tonnes à 1 mille.

Sur le chemin de Saint-Étienne à Andrezieux, on compte qu'un cheval tire en plaine, par jour, $7\frac{1}{2}$ tonnes à 40,000 mètres : cela fait 300 tonnes à 1,000 mètres, ou un peu moins de 200 tonnes à 1,600 mètres ou 1 mille anglais.

En Bohême, où les chevaux sont plus petits qu'en Angleterre, un cheval tire en plaine 3 chariots, chargés chacun de 2 à $2\frac{1}{2}$ tonnes, à une

(1) Paris, Anselin et Pochard, 1827.

distance de 20 milles anglais, en un jour; comptant le poids de chaque chariot 1 tonne, le cheval traînera de 9 à 10 tonnes à 20 milles; disons 9 tonnes : l'effort qu'il exerce correspondra à celui qui est nécessaire pour traîner 180 tonnes à 1 mille.

Sur une bonne route à la Mac-Adam, un cheval tire, par jour de dix heures, de 22 à 24 quintaux, y compris le poids de la voiture, en parcourant de 23 à 24 milles anglais. L'effort qu'il exerce correspond à l'effort nécessaire pour traîner de 26 à 28 tonnes à 1 mille (1).

Effet moyen d'un cheval sur une route Mac-Adam.

D'après ces différentes données, l'avantage de la route en fer sur la route à la Mac-Adam, eu égard au frottement, serait comme $7\frac{1}{2}$ ou 8 : 1.

Parallèle entre les diverses espèces de routes.

Ces résultats sont un peu plus élevés que ceux auxquels nous sommes parvenus en admettant pour le coefficient du frottement sur la route à la Mac-Adam $\frac{1}{35}$; mais il faut observer que le travail journalier du cheval sur la route ordinaire n'a peut-être pas été pris sur des routes parfaitement plates, ce qui serait la cause de la différence.

On arriverait aussi à des conclusions un peu différentes en adoptant le nombre donné par M. Walker pour estimer le travail d'un cheval sur une route ordinaire.

« A la vitesse de $2\frac{1}{2}$ milles par heure, dit

(1) Dans un extrait du *London-Magazine*, que M. Edgeworth a intercalé dans son ouvrage sur les routes, page 243, il est dit qu'un cheval traîne 27 quintaux en faisant 2 milles à l'heure; mais le temps de travail par jour n'est pas indiqué. En supposant que ce soient dix heures, l'effet produit correspondrait au transport de vingt-sept tonnes à un mille.

cet ingénieur, un bon cheval fera sur une bonne route ordinaire 20 milles par jour en traînant 32 quintaux, y compris le poids de la voiture, ce qui correspond à un effet journalier de 640 quintaux ou 32 tonnes transportés à 1 mille.

Influence de la vitesse sur le travail du cheval.

» A la vitesse de 6 milles par heure, ajoute le même auteur, aux environs de Londres, un cheval plus léger que le précédent, et à peu près du même prix, fera, en ne parcourant que des relais très courts et traînant avec un autre cheval une diligence du poids de 20 quintaux, contenant $13\frac{1}{2}$ quintaux en voyageurs et $1\frac{1}{2}$ quintal d'effets ou marchandises, 16 milles par jour. Cela correspond à un effet de $17\frac{1}{2} \times 16 = 280$ quintaux transportés à 1 mille.

» A la vitesse de 10 milles par heure, un cheval encore plus léger ne fera que 10 milles par jour en traînant, avec trois autres chevaux, la malle pesant 10 quintaux, contenant 12 quintaux de voyageurs et 8 quintaux de sacs et effets. Cela correspond à un effet de 100 quintaux transportés à 1 mille.

» On observera en outre que lorsqu'on fait courir le cheval avec une très grande vitesse, il ne dure pas la moitié du temps qu'il pourrait servir en ne marchant que lentement. »

M. Wood admet, comme simple résultat de pratique, que l'effort qu'exerce le cheval sur la charge décroît en raison inverse de la vitesse.

Enfin on trouvera encore des renseignemens assez détaillés sur ce sujet dans le traité de M. Tredgold. Cet auteur conseille de ne faire travailler le cheval que six heures par jour, à la vitesse de 3 milles par heure.

Avec les données qui précèdent, on calculera

aisément le travail d'un cheval sur un plan incliné de pente donnée.

Lors de notre passage à Glasgow, on se servait, pour les expériences sur une des nouvelles routes en fer des environs, d'un dynamomètre de nouvelle construction : en voici une description sommaire. Nouveau dynamomètre.

Un gros piston en bois P, *fig.* 26, plonge dans un bain de mercure que renferme un cylindre en fonte CC'. Le cylindre en fonte communique, par son extrémité inférieure, avec un tube FF'; on fait agir la puissance en A sur la tige du piston, du haut en bas, au moyen d'un système de leviers coudés. Le piston de bois s'enfonce dans le mercure, qui monte autour et s'élève dans le tube; derrière celui-ci est une échelle graduée, qui permet de juger de l'effort.

Ce dynamomètre est placé sur un chariot que l'on attache à d'autres dont le poids est bien connu; on fait marcher le cheval, et on voit sur l'instrument la quantité de livres à ajouter aux chariots pour estimer la force développée dans les différens cas de vitesse de l'animal et d'inclinaison du chemin.

De la gravité.

La gravité ou pesanteur ne peut servir de moteur que dans les parties inclinées. Les chariots qui descendent aident alors par leur poids, au moyen d'un système de poulies ou de treuils, d'autres chariots à monter. Souvent, si le mouvement commercial est plus fort dans le sens de la descente, le simple poids des chariots descendans suffit, sans aucun aide d'autre part, pour faire remonter les chariots ascendans : dans

quelques cas, il est seulement auxiliaire d'une machine.

Le plus communément les chariots descendans agissent par leur poids sur d'autres qui marchent en sens opposé sur la même pente ; quelquefois les chariots descendant sur un des flancs d'une colline font remonter les chariots ascendans sur l'autre flanc.

On conçoit que, dans le premier cas, il faut au moins trois files de rails sur toute la longueur du chemin, et quatre files aux points de rencontre. On voit aisément, en examinant la *fig.* 27, comment les rebords des roues étant en dedans, les chariots passent, dans ce cas, d'une route à trois rangs de rails sur une route à quatre rangs sans l'aide d'aucune pièce mobile.

Nous ne nous arrèterons pas à décrire les différentes combinaisons de poulies et de treuils employées pour faire usage de la gravité.

Frottement des cordes.

Les cordes auxquelles sont attachés les chariots reposent sur des poulies ou rouleaux placés de distance en distance. M. Wood a trouvé, d'après les moyennes d'un grand nombre d'expériences, qu'il convenait, dans la pratique, de considérer le frottement qu'elles occasionent comme égal au tiers de la pression qui le produit, abstraction faite de la diminution due à l'emploi des poulies. Multipliant ce nombre par le rapport qui existe entre la circonférence des poulies et celle des axes sur lesquels elles tournent, on obtient l'expression complète du frottement. Les élémens de la pression qui y donne lieu sont non seulement le poids de la corde, mais encore celui des treuils et poulies.

Le rapport entre le diamètre des poulies et

celui des axes étant souvent de 1 : : 12, le coefficient du frottement est alors $\frac{1}{36}$. Ce rapport étant quelquefois 1 : 16, le coefficient du frottement devient $\frac{1}{48}$.

M. Jas. Walker fait entrer dans les calculs le frottement des cordes, poulies, treuils, etc., comme étant égal à $\frac{1}{22}$ du poids de la corde seulement (1). Il est fâcheux qu'il n'indique pas le rapport du diamètre des poulies à celui de leurs axes. Il nous semble aussi que le frottement sur les pentes n'est pas proportionnel au poids absolu, mais à la composante verticale de ce poids.

On observera enfin que le frottement des cordes variera avec la température, et que l'expression qui en a été donnée a été calculée pour la température ordinaire de l'Angleterre.

La perte de force que l'on doit attribuer à l'emploi des cordes ne vient pas seulement de leur frottement sur la gorge et les axes des poulies, mais encore des vibrations que fait la corde, surtout au commencement du mouvement. Ces vibrations sont le produit d'une force et cette force est perdue.

Plans inclinés (*self acting planes*) établis près des points de déchargement.

On emploie en Angleterre la force motrice de la gravité d'une manière fort ingénieuse vers les points de déchargement. Aux environs de Newcastle, par exemple, où les convois doivent être déchargés sur des bateaux, les rives de la Tyne forment des talus assez rapides d'environ cent mètres de longueur. De leur sommet on fait partir des planchers inclinés aussi, mais beaucoup moins que ces pentes, et qui vont se ter-

(1) Voyez *Report*, etc., page 22.

miner à quelques mètres au dessus de la surface de la rivière. Ces planchers reposent sur de fortes charpentes et portent la route en fer. A quelque distance du sommet du talus, dans l'espace compris entre les deux files de rails, est une poulie tournant dans un plan vertical mené suivant la direction du chemin, et dont la plus grande portion se trouve au dessous du plancher. Sur cette poulie passe une corde portant à une de ses extrémités un contre-poids et à l'autre un crochet de fer, de telle manière que le chariot, dépassant la poulie, saisit, par un petit crochet fixé à sa partie postérieure, celui de la corde; sa marche est ralentie par le contre-poids ; il continue à descendre, fait par conséquent monter le contre-poids, et, arrivé près de la rivière, il rencontre un nouvel appareil du même genre, qui l'arrête presque entièrement et ne lui laisse que la force suffisante pour achever sa course. Le plan s'arrondissant à son extrémité de manière à présenter une portion de surface cylindrique au lieu d'une arête vive, le chariot, lorsqu'il a atteint cette surface, bascule ; la paroi postérieure rencontre un obstacle ou système particulier qui la force à s'ouvrir, et le chariot se vide dans une grande caisse suspendue au dessus du bateau. Dès qu'il ne renferme plus de houille, les contre-poids le relèvent et le ramènent en haut du plancher. C'est surtout le premier contre-poids qui agit, puisque le chariot quitte déjà le second à une très petite distance de l'extrémité du plan. Il tient la corde constamment tendue, et on creuserait le talus s'il n'était pas assez élevé pour que cela fût naturellement ainsi.

La caisse en tôle est suspendue elle-même à deux cordes qui s'y attachent de chaque côté, passent sur des poulies et portent à leurs extrémités des contre-poids. Dès qu'elle est pleine, elle entraîne les contre-poids et descend sur le bateau, où des hommes en ouvrent une des parois et la vident, puis elle remonte par l'effet du contre-poids. Un homme placé à l'extrémité du plan incliné aide avec un frein les contre-poids à empêcher la caisse de descendre avant qu'elle ne soit pleine. Tout ceci s'opère avec une rapidité incroyable. Les chariots se succèdent presque sans interruption.

On nous a dit que, dans une autre localité, à Sunderland, les chariots descendaient eux-mêmes dans un cadre sur le bateau, et ensuite, après s'être vidés, remontaient par l'effet de contre-poids.

Des machines à vapeur.

Nous avons vu plus haut que les machines à vapeur employées sur les chemins de fer étaient de deux espèces :

Les machines fixes (*stationnery engines*) ;

Les machines locomotives (*locomotive engines*).

Des machines fixes.

Les machines fixes peuvent être employées en plaine ou pour franchir les montées : on n'en fait guère usage que dans le second cas.

Nous avons déjà donné une idée générale de la manière dont on faisait agir les machines fixes, par l'intermédiaire de treuils, sur les chariots. Nous avons dit que, lorsqu'elles étaient situées au sommet d'une pente, on les aidait en faisant agir sur le treuil le poids des chariots descendans. Quelquefois aussi, lorsqu'une série de

machines est placée sur une même ligne, elles s'aident mutuellement. C'est ce qu'on appelle en anglais le *reciprocating-system* (système réciproquant).

Nous allons en donner une courte description. Supposons d'abord une seule voie.

Système dit *reciprocating-system.*

Soient trois machines, A, B, C; chaque machine a deux treuils dont les axes sont parallèles et situés dans un même plan horizontal, et dont l'un communique le mouvement à l'autre au moyen d'un engrenage.

Les deux treuils tournent donc nécessairement en sens contraire : les cordes qui passent sur chacun d'eux sont disposées de telle façon que l'une s'enroule, tandis que l'autre se déroule ; la corde qui s'enroule tire un convoi vers la machine, et l'autre est attachée à la queue d'un convoi qui s'en éloigne.

De cette manière, si le convoi marche de C vers B, la machine B réagit sur la machine C par l'intermédiaire du câble de cette machine, qui se déroule ; il en est de même de la machine A à l'égard de la machine B ; et, le convoi marchant dans le sens contraire, c'est C qui réagit sur B, et B sur A.

Lorsqu'il y a double voie, on a deux systèmes de treuils semblables au précédent. Deux treuils sont placés sur un même axe, et les cordes sont disposées sur ces treuils de manière à s'enrouler en sens contraire. Chaque système de treuils tournant tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre, on conçoit que successivement les cordes, s'enroulant ou se déroulant, tirent le convoi vers la machine sur la voie qui leur corresponde, ou bien suivent le convoi mar-

chant dans l'autre sens sur la même voie. Si donc on veut avoir un transport continu, un convoi T allant de A vers B, et un autre convoi T' allant de B vers A, on sent qu'il faudra qu'auprès de chaque machine chaque convoi puisse passer d'une voie sur l'autre. C'est ce dernier mode de transport par machines fixes que MM. Walker et Rastrick ont proposé pour la route de Liverpool à Manchester. On l'adopterait sur toute l'étendue du chemin, quoiqu'une grande partie soit plate, et les machines seraient distantes l'une de l'autre de 1 $\frac{1}{2}$ mille (2400m.).

Les machines fixes sont à basse ou à haute pression : presque toutes celles que nous avons vues aux environs de Newcastle et à Bolton sont à haute pression et à détente sans condensateur. On les préfère, parce que lorsque la machine commence à tirer, et précisément alors que l'on aurait besoin de plus de force, le vide étant dans les machines à condensateur moins parfait qu'il ne le devient ensuite, la puissance est également moindre ; ce qui n'arrive pas avec les machines à haute pression sans condensateur. En outre, on peut plus facilement augmenter la force des machines à haute pression lorsque cela devient nécessaire par suite d'une augmentation de transports. Celles que l'on emploie aux environs de Newcastle n'usent peut-être pas moins de combustible, comme nous allons le voir, que de bonnes machines de Watt ; mais, d'après des expériences de M. Wood, leur effet utile serait plus grand, dans les mêmes circonstances, que pour des machines de Watt (1). Machines.

(1) Ces expériences demanderaient à être répétées avant

La pression la plus commune, aux environs de Newcastle, est de 25 livres par pouce carré du piston.

Les machines consomment 1 $\frac{1}{2}$ boisseau de Winchester de charbon, ce qui fait environ 136 livres par force de cheval en douze heures, ou environ douze livres ($5^k,44$) par heure.

Le piston parcourt ordinairement 220 pieds ($61^m,03$) par minute.

Expériences et observations de M. Wood sur l'effet utile des machines à vapeur.

M. Wood fait observer que la pression sur le piston des machines dépend du poids de vapeur qui s'introduit dans le cylindre pendant un temps donné, et que celui-ci est non seulement fonction de l'élasticité mesurée par la soupape de sûreté, mais aussi de la vitesse du piston, de la rapidité avec laquelle la vapeur se produit, et de la grandeur de l'ouverture par laquelle elle passe de la chaudière dans le cylindre. Il est alors évident que l'on arrive à une fausse appréciation de la puissance de la machine lorsque, comme le font quelques constructeurs, on ne tient compte, pour la calculer, que de l'élasticité de la vapeur dans la chaudière, élément que l'on multiplie par la surface et la course du piston.

Appliquant ces principes et comparant des expériences, M. Wood trouve que la quantité de vapeur à la même tension, et par conséquent la quantité de combustible consommée pour produire un même effet, sont plus considérables dans le cas d'une plus grande rapidité du piston.

---

de faire loi; car il est possible que les machines à basse pression dont s'est servi M. Wood n'aient pas été aussi bien faites que celles à haute pression. Toutes les personnes qui emploient les machines savent combien un léger défaut de construction peut diminuer leur effet.

On voit donc qu'il y aura désavantage économique à augmenter cette rapidité au delà de certaines limites.

Machines locomotives.

Variétés de machines locomotives.

On trouve, dans l'ouvrage de M. Wood, des plans et des descriptions d'un grand nombre de machines locomotives, qui ont été essayées ou qui sont actuellement employées. Les plus remarquables sont celles dont on se sert à la houillère de Killingsworth, et celles qui ont été adoptées sur la grande route de Darlington à Stockton. Ces dernières sont surtout curieuses par le mode de suspension de la chaudière, dont l'invention est due à MM. Losh et Stephenson : de petits pistons, sur lesquels agissent dans des cylindres la force élastique de la vapeur et le poids de l'eau de la chaudière, communiquent par intermédiaire la pression exercée sur leur surface sous les essieux des roues ; ils font ainsi effet de ressorts.

Machine locomotive de la route en fer de Bolton.

Nous renvoyons, pour une description complète des différentes machines locomotives en usage, au Traité de M. Wood, et nous ne parlerons avec détails que de celle qui est employée sur la route de Bolton. C'est la plus parfaite que l'on ait établie, et elle n'a encore été citée, à notre connaissance, dans aucun ouvrage. Elle sort des ateliers de M. Robert Stephenson à Newcastle, et paraît devoir servir de modèle à toutes celles qui circuleront sur la route de Liverpool à Manchester. Voy. les Pl. IX et X, et la légende à la fin de cet article.

Particularités qui distinguent la

Les particularités qui distinguent cette machine des autres machines locomotives décrites sont les suivantes:

machine locomotive de Bolton.

1°. Elle est portée sur ressorts, tandis que les autres machines ne le sont en aucune manière ou le sont comme nous venons de l'expliquer.

2°. Les cylindres à vapeur sont inclinés de 45 degrés à l'horizon, au lieu d'être verticaux.

3°. Les roues sont en bois, avec un contour de fer malléable, au lieu d'être en fonte trempée.

4°. Les roues sont liées par des bielles horizontales, au lieu de l'être par des chaînes sans fin passant sur des roues dentées posées sur les essieux.

Le mode de suspension sur ressorts a été reconnu par M. Stephenson lui-même, inventeur du mode de suspension par la vapeur, supérieur à celui-ci, parce que la pression de la vapeur ou de l'eau sur les pistons, venant à augmenter la chaudière, est soulevée brusquement.

Les cylindres verticaux ont présenté un inconvénient analogue, qui, sans être nul, est moindre avec des cylindres inclinés ou horizontaux.

Les roues en fonte se cassent ou s'usent plus vite que celles en bois avec un pourtour en fer malléable. M. Wood, qui, il y a dix-huit mois, essaya les roues avec un pourtour en fer malléable, est parfaitement d'accord avec M. Stephenson sur leur supériorité. Ainsi nous avons vu à Killingsworth des roues en fonte qui, après n'avoir servi que quatre mois, étaient déjà fortement rongées, et dont le contour était devenu assez raboteux pour que le frottement en fût considérablement augmenté. Des roues en fer malléable, au contraire, au bout de sept mois, n'étaient pas visiblement attaquées : il n'y a en Angleterre, contre ces dernières, que la différence du prix.

Les couronnes en fer malléable sont faites au laminoir, et fixées au bois par des clous à tête perdue; les extrémités de la bande sont soudées au point où elles se rejoignent.

Voici les dimensions principales de cette machine :

Longueur de la chaudière.	8 p.	9 p°.	2m,59
Diamètre.	4	6	1m,37
Épaisseur des parois.	?		....
Diamètre des tubes pour les foyers.	1	6	0m,45
Diamètre des roues.	4	»	1m,22
Diamètre intérieur des cylindres à vapeur.	»	9	0m,22
Course des pistons.	2	2	0m,66

Le nombre de coups par minute dépend de la vitesse de la machine : or, celle-ci parcourt ordinairement, avec sa charge, 7 milles anglais (11263 mètres) par heure, cela fait 566 pieds par minute : donc le nombre des coups de piston est de 45 à 46.

La pression sur la soupape est de 50 livres par pouce carré.

Le poids de la machine, y compris le poids du charbon, de l'eau et du train d'approvisionnement, est de 10 tonnes 13 quintaux : nous ne connaissons pas celui des différentes parties.

La force de la machine est estimée de dix à onze chevaux : c'est celle qu'elle développe ordinairement lorsqu'elle traîne 8 chariots, le poids du chariot vide étant 30 quintaux et celui de sa charge 42 quintaux 96 livres (2175k.); mais on lui a fait faire l'ouvrage de vingt-quatre chevaux en augmentant l'élasticité de la vapeur. D'après une expérience relatée dans le mémoire de

MM. Walker et Rastrick (1), elle parcourut alors $\frac{1}{5}$ mille (320m.) avec une vitesse de 8,8 le mille (14150m.) par heure, en traînant 13 chariots, pesant chacun, y compris la charge, environ 73 quintaux, sur une pente ascendante de $\frac{1}{432}$ (2 millimètres par mètre).

Autre machine pour la route de Liverpool à Manchester. Mode de suspension des ressorts perfectionné.

Nous avons vu, dans les ateliers de M. Robert Stephenson, à Newcastle, une autre machine locomotive en construction, dans laquelle le mode de suspension de la chaudière a été perfectionné. Celle-ci est portée par quatre cylindres verticaux liés à un grand cadre en fer AB, *fig.* 28 et 29; ce cadre repose sur quatre tiges *c o*, qui traversent les ressorts; ces ressorts sont fixés, au moyen de boulons, à des pièces E percées de trous semi-cylindriques destinés à recevoir la partie supérieure des essieux. Des pièces E′ sont aussi traversées par les boulons et embrassent la partie inférieure des essieux. En F, sont des parallélipipèdes en fonte qui empêchent les essieux de se rapprocher, et qui, attachés au cadre, lui servent de guide lorsqu'il se meut par la flexion des ressorts. Les autres parties de la machine, qui n'étaient pas terminées, paraissaient devoir être à peu près les mêmes que dans la machine de Bolton.

Nous joignons ici un tableau du travail, en été et en hiver, de différentes machines locomotives qu'ont étudiées MM. Walker et Rastrick.

---

(1) Page 17.

MACHINES.	ROUTES.	EN ÉTÉ, à 5 milles par heure. Marchandises.	Waggons.	Mach. et train d'approvis.	Poids total.	A 8 milles par heure. Marchandises.	Waggons.	Mach. et train d'approvis.	Poids total.	A 10 milles par heure. Marchandises.	Waggons.	Mach. et train d'approvis.	Poids total.	Vitesse ordinaire de la machine. Nombre de milles par heure.
Mach. à 6 roues de 4 pieds, faite par M. Hackworth........	Stockton et Darlington.	47,75	23,75	15,	86,80	26,	13,	15,	54,	18,75	9,50	15,	43,25	5,50
Machine à 4 roues de 4 pieds......... ..	Stockton et Darlington.	34,75	17,33	12,	64,	18,66	9,33	12,	40,	13,33	6,66	12,	32,	5,
Machine à 4 roues de 4 pieds 2 pouces...	Killingsworth	38,	19,	10,50	67,50	21,	10,50	10,50	42,	15,50	7,75	10,50	33,75	5,
Mac. à 4 r. de 3 pieds.	Hetton.	24,25	12,	10,50	46,75	12,50	6,25	10,50	29,25	8,66	4,33	10,50	23,50	5,
Mach. à 4 roues, avec roue d'engrenage qui marche sur une crémaillère........	Middleton près Leeds.	22,25	11,	6,25	39,50	12,25	6,25	6,25	24,75	9,	4 ½	6,25	19,75	3
Mach. de 10 chevaux proposée par MM. Walker et Rastrick pour la route de Liverpool.....	Liverpool et Manchester.	33,	16,50	10,50	60,	18,	9	10,50	37,50	13,	6,50	10,	30,	10,

Les résultats sont exprimés en tonnes de 1015 kil.

MACHINES.	ROUTES.	EN HIVER, A 5 milles par heure. Marchandises.	Waggons.	Mach. et train d'approvis.	Poids total.	A 8 milles par heure. Marchandises.	Waggons.	Mach. et train d'approvis.	Poids total.	A 10 milles par heure. Marchandises.	Waggons.	Mach. et train d'approvis.	Poids total.	Vitesse ordinaire de la machine. Nombre de milles par heure.
Mach. à 6 roues de 4 pieds, faite par M. Hackworth........	Stockton et Darlington.	40,75	20,25	15,	76,	21,75	10,75	15,	47,50	15,25	7,75	15,	38,	5,5
Machine à 4 roues de 4 pieds..........	Stockton et Darlington.	28,75	14,50	12,	55,25	15,	7,50	12,	34,50	10,40	5,20	12,	27,60	5
Machine à 4 roues de 4 pieds 2 pouces..	Killingsworth	31,25	15,75	10,50	57,50	17,	8,50	10,50	36,	12,	6,25	10,50	28,75	5
Mac. à 4 r. de 3 pieds.	Hetton.	19,75	9,75	10,50	40,	9,75	4,75	10,50	25,	6,25	3,25	10,50	20,	5
Mach. à 4 roues, avec roue d'engrenage qui marche sur une crémaillère........	Middleton près Leeds.	19,25	9,50	6,25	35,	10,25	5,25	6,25	21,75	7,50	3,75	6,25	17,50	3
Mach. de 10 chevaux proposée par MM. Walker et Rastrick pour la route de Liverpool...........	Liverpool et Manchester.	27,33	13,06	10,50	51,50	14,50	7,25	10,50	32,25	10,25	5,	10,50	25,75	10,

Les résultats sont exprimés en tonnes de 1015 kil.

La première de ces machines est la plus forte qui ait été construite en Angleterre. On serait parvenu à lui faire traîner jusqu'à 48 $\frac{3}{4}$ tonnes sur une pente ascendante d'environ 0,001, à la vitesse de 11,2 milles par heure. La dernière est une machine proposée, pour la route de Liverpool à Manchester, par MM. Walker et Rastrick.

On observera que, d'après ce tableau, l'effet de ces machines, déterminé en multipliant la charge par la distance parcourue, est toujours le même pour une même machine, dans une même saison, quelle que soit la vitesse qu'on leur donne; mais ces résultats ont été calculés par les ingénieurs anglais, en prenant pour base le travail de la machine avec la vitesse qu'elle reçoit communément: c'est pour cela que nous avons ajouté une colonne de l'espace qu'elle parcourt habituellement en une heure : or, nous avons vu que l'effet des machines, d'après M. Wood, diminuait avec la vitesse du piston; elles ne tireraient donc pas, avec une vitesse double, exactement la moitié de la charge qu'elles sont susceptibles de traîner avec leur vitesse ordinaire, sans que la dépense en combustible et vapeur augmentât.

Les données de M. Walker et celles de M. Rastrick présentent entre elles de si légères différences, que nous n'avons pas cru nécessaire de les indiquer.

La machine locomotive, que M. Robert Stephenson a envoyée l'année dernière à MM. Seguin, pour le chemin de Saint-Étienne à Lyon, ressemble, en plusieurs points, à celle de Bolton. Les roues sont aussi en bois, avec le contour en fer malléable; mais la chaudière n'est pas portée sur ressorts, et les cylindres à vapeur sont

Machine locomotive de la route de St.-Étienne à Lyon

verticaux et suspendus de part et d'autre entre les les roues qui n'ont pas même essieu : ils communiquent le mouvement à celles-ci par un système de leviers et de bielles.

La chaudière a en longueur. . . .	10 p.	» p°.	3m,05
Diamètre.	4	»	1m,22
L'épaiss. des parois est partout.	»	1/2	0m,01
Le diam. des cylindr. à vapeur.	»	9	0m,22
Course des pistons.	2	2	0m,66
Diamètre des roues.	4	»	1m,22

Cette machine travaillera sous une pression de 50 livres par pouce carré dans la chaudière.

Poids des différentes parties.

Voici le poids des différentes parties de cet appareil, que M. Paul Seguin a eu la complaisance de nous communiquer :

Poids de la chaudière avec les cylindres et la charpente.	5,644 kilogr.
Les différentes pièces, telles que bielles, etc..	630
La cheminée.	181
4 roues en bois et fer et 2 essieux. . . .	1,283
Eau	1,695
Total. .	9,433 kil., ou

environ 9 1/2 tonnes.

A quoi il faut ajouter le charbon qui est sur la grille.

Chariot d'approvisionnement.

La caisse.	410 kilog.
4 roues et 2 essieux.	530
Citerne.	224
Eau, environ	1,200
Charbon.	1,200
Total. . . .	3,564

Les machines locomotives de Killingsworth se rapprochent, dans les parties essentielles, des machines de Bolton; nous emprunterons encore à M. Wood les résultats généraux des expériences qu'il a faites avec celles de Killingsworth.

Résultats pratiques obtenus par M. Wood avec les machines locomotives de Killingsworth.

Ces expériences ont eu lieu avec une machine locomotive, dont les cylindres étaient verticaux, les roues en fonte trempée, de 4 pieds (1^m,22) de diamètre; les essieux liés entre eux par une chaîne sans fin, la chaudière ayant 8 pieds de long et 4 pieds de diamètre. Le poids de tout l'appareil, y compris 1 tonne (1,015 kil.) d'eau, était 16,800 livres; enfin, le frottement total des différentes parties (pistons, roues, essieux, etc.) de la machine avait été reconnu par l'expérience être de 384 livres lorsqu'elle est mise en mouvement par la vapeur.

M. Wood a déterminé le maximum de charge que peut tirer, par le temps le plus mauvais, sans glisser, une machine locomotive sur un chemin de fer de niveau. Il a trouvé que ce maximum correspondait à une résistance égale à la vingt-cinquième partie de son poids, ou, en d'autres termes, que le frottement ou l'adhérence que la machine était susceptible de vaincre sans glisser était la vingt-cinquième partie de son poids. D'après cela, on peut calculer les charges qu'elle traînera sur une pente donnée, et la limite de pente à laquelle elle cessera de pouvoir traîner une charge quelconque.

Voici un tableau établi par M. Rankine, dans une petite brochure publiée sur les routes en fer (1). Il suppose l'état des rails le plus défavo-

(1) *A popular exposition of the effect of forces applied*

rable possible, et part en conséquence du coefficient $\frac{1}{21.62}$ au lieu de $\frac{1}{25}$. Le poids de la machine est 16,801 livres.

Inclinaison du plan.	Résistance que la machine peut vaincre calculée en livre.	Poids traîné calculé en tonnes et quint.
1 sur 400	735	43 15
1 sur 300	721	38 12 1/2
1 sur 200	693	30 18 1/2
1 sur 150	665	23 9
1 sur 120	637	21 6 1/2
1 sur 100	609	18 2 1/2
1 sur 80	567	14 8 2/3
1 sur 50	441	14 17 1/2
1 sur 30	217	2 10 1/2
1 sur 21,62	...	......

2°. Ce qui a été dit plus haut des machines fixes à haute pression, relativement aux changemens qu'apporte dans la consommation en combustible l'augmentation de rapidité du piston, est également applicable aux machines locomotives. M. Wood a d'ailleurs confirmé, par des expériences concluantes, ce résultat, auquel conduit le raisonnement.

3°. La consommation en combustible diminue par l'augmentation du diamètre des roues, ou, en d'autres termes, l'espace parcouru en un certain temps augmente avec ce diamètre, sans que

to Draught, etc., by David Rankine, Glasgow, John Smith and son, 1828, page 41.

la consommation en combustible varie dans une aussi forte proportion.

Ce résultat est une déduction d'un tableau d'expériences faites par M. Wood ; mais on peut également y arriver *à priori*. En effet, le frottement de la machine locomotive comprend, outre celui des roues sur les essieux, celui des différentes parties de la machine entre elles. Ces deux élémens restent les mêmes pour chaque tour de roues, quel que soit leur diamètre, pourvu que celui des essieux ne change pas. Par conséquent, plus les roues sont grandes, plus ils sont petits pour un même espace parcouru, et de là aussi plus la consommation en combustible que le frottement nécessite est faible.

4°. D'après les expériences, la consommation en combustible diminue lorsque l'on augmente, dans de certaines limites, la partie du tube renfermant le foyer qui est en contact avec l'eau.

M. Wood explique ce résultat en faisant observer que, dans de petits tubes, l'intensité de la chaleur nécessaire pour entretenir une génération de vapeur suffisante produit une combustion plus rapide, par suite de laquelle une plus grande partie de houille imparfaitement brûlée est emportée dans la cheminée.

5°. Les expériences étant faites avec la machine décrite précédemment, le feu étant renfermé dans un seul cylindre de 22 pouces de diamètre, et la machine parcourant 9,45 milles en une heure vingt-six minutes quatorze secondes, ou environ 6,56 milles (10548^{m}.) par heure, et traînant douze chariots, dont le poids total était 975 quintaux (49481^{k}.) et le frottement évalué a 40 livres chaque, ou 480 livres pour les 12,

on a trouvé que 51,55 livres (23^k,36) de houille de Newcastle étaient suffisantes pour traîner à 1 mille anglais (1,609 mètres) les 975 quintaux de la charge, et le poids de la machine, 16,800 livres (7612 kil.), ou, ce qui revient au même, pour surmonter la résistance de 480 livres, plus celle de la machine, ou 384 livres ; en tout 864 livres (0,391 kil.).

Désignant par R le frottement d'un autre convoi de chariots et par R' le frottement total d'une autre machine locomotive de même construction, M. Wood établit que l'on peut passer de la consommation à laquelle il est parvenu dans le cas détaillé plus haut à celle qui aurait lieu pour une charge quelconque et une machine de poids différent par la formule

$$\frac{51,55\ (R + R')}{864}$$

Ainsi, d'après les expériences, la consommation en combustible pour des machines locomotives de même construction serait proportionnelle à la somme des frottemens du convoi et de la machine, et si l'on suppose le poids d'un chariot 24 quintaux, elle s'élèverait à 51,55 liv. pour traîner 975—288 = 687 quint. de marchandises à un mille, ou environ 1,5 liv. pour transporter une tonne à la même distance (env. 0,42 kil. pour une tonne à 1 kilomètre).

Dans le cas de machines plus ou moins parfaites que celles de Killingsworth et de houille d'une qualité moindre que celle de Newcastle, le coefficient 51,55 devrait être changé par l'expérience. M. Tredgold admet, avec les machines actuelles, une consommation de $1\frac{1}{8}$ livre de houille de Newcastle pour le transport d'une tonne de marchandises à 1 mille. MM. Walker et Rastrick, d'après la

moyenne des consommations de quatre ou cinq machines locomotives différentes, estiment qu'il faut brûler 2 $\frac{1}{2}$ livres de houille ordinaire, ou environ 2 liv. de houille de Newcastle, pour produire le même effet.

Voici enfin, sur les machines locomotives, quelques résultats pratiques extraits de nos notes.

A Killingsworth, la route en fer a 5 milles (8045^{m}.) de longueur; la pente, en montant, pour les chariots chargés, ne dépasse jamais $\frac{1}{350}$; la pente au retour, c'est à dire pour les chariots non chargés, s'élève jusqu'à $\frac{1}{100}$.

On n'emploie sur cette route que des machines locomotives. Elles sont au nombre de quatre, dont trois seulement servent en même temps, la quatrième étant pour les cas d'accidens. Chacune est de la force de huit chevaux, la pression sur la soupape de sûreté est de 50 liv. par pouce carré; la rapidité de la marche avec la charge est d'environ 6 milles (9654^{m}.) par heure; mais, les arrêts compris, elles ne parcourent pas plus de 50 milles (80400^{m}.) dans les douze heures dont se compose la journée de travail.

La charge est communément de 12 à 13 chariots: soient douze chariots, le poids de chaque chariot plein est d'environ 4 tonnes, dont 24 quintaux pour le chariot et 56 quintaux pour la houille; le poids de la machine 6 $\frac{1}{2}$ tonnes, et celui de l'eau qu'elle renferme 1 tonne, le poids du chariot d'alimentation 1 $\frac{1}{2}$ tonne: ainsi, la charge totale est d'environ 57 tonnes.

La consommation en combustible est d'environ 1 tonne en douze heures, charbon 2e. qualité.

D'après M. Robert Stephenson, la charge la plus convenable pour une machine de huit à dix

chevaux sur un chemin de niveau est de 50 ton, la vitesse de 5 à 6 milles par heure; on lui fait quelquefois parcourir 7 milles, comme à Bolton. La consommation en combustible de machines semblables à celles de Bolton est de deux boisseaux (*winchester bushel*) en douze heures par force de cheval; ce qui fait environ $\frac{3}{4}$ tonnes en douze heures pour une machine de huit chevaux.

Comparaison entre les diverses espèces de moteurs.

Les chevaux peuvent être employés en plaine ou aux montées, pourvu que celles-ci ne soient pas très fortes. La gravité ne sert que sur les plans inclinés; les machines fixes sont applicables en plaine ou aux montées; les machines locomotives ne conviennent plus dès que la pente dépasse une certaine limite.

Les chevaux, comme les machines locomotives, ont leur propre poids à transporter, ce qui diminue leurs avantages à la montée. Le degré de vitesse (6 milles à l'heure) avec lequel on effectue communément les transports par machines locomotives ou machines fixes est beaucoup au dessus de celui qu'il convient de donner aux chevaux (de 2 à 2 $\frac{1}{2}$ milles à l'heure) pour tirer tout le parti possible de leur force. Les chevaux dégradent le milieu des routes avec leurs pieds; mais ils ne font pas supporter aux rails un poids considérable, comme les machines locomotives, et, d'après le témoignage de M. Storey, l'un des directeurs du chemin de Darlington, ils n'occasionent pas la rupture d'un aussi grand nombre de chariots que les machines fixes ou locomotives. M. Storey explique ce dernier résultat en faisant observer que les transports ayant lieu avec beaucoup plus de rapidité par machines que

lorsque l'on se sert de chevaux, les chocs produits par une cause quelconque sont aussi plus violens dans le premier cas que dans le second.

Il paraît que, dans les pays où la houille est à très bon marché et le fourrage cher, les chevaux occasionent en plaine des frais de halage plus élevés que les machines locomotives. La différence cependant doit être très petite; car plusieurs personnes dignes de foi nous ont assuré que sur la route de Darlington à Stockton, où la houille est à un prix moyen pour l'Angleterre, le coût du transport par chevaux était à peu près balancé par celui du transport avec machines locomotives.

La gravité est un moteur dont on fera toujours bien de se servir lorsque cela sera possible; il ne coûte rien, on ne peut l'employer cependant sans des frais assez considérables de cordes, treuils et main-d'œuvre.

Les machines fixes présentent également le grave inconvénient d'exiger des cordes, treuils, etc., pour la transmission du mouvement, ce qui augmente considérablement la dépense. Elles ont à vaincre, outre le frottement des chariots, celui des câbles et de tout l'appareil au moyen desquels elles agissent. S'il leur arrive quelque accident, et que l'on n'ait pas une machine et des cordes de rechange prêtes, tout le convoi doit cesser de marcher. On ne peut, lorsqu'on se sert de machines fixes, arrêter aussi facilement le convoi pour prendre des marchandises ou des voyageurs, que lorsqu'on emploie les machines locomotives. Le temps que font perdre les arrêts, tels que chargement, changement de moteur, etc., etc., est plus grand avec les machines fixes qu'avec les machines lo-

comotives. Il faut remarquer cependant que ces différentes opérations se font en Angleterre avec une prodigieuse rapidité : nous en avons été témoins en parcourant sur les chariots la ligne du chemin de M. Thomson, près Newcastle, sur une longueur de $9\frac{3}{4}$ milles.

D'un autre côté, les machines fixes exigent moins de combustible et du combustible de moindre qualité que les machines locomotives. Les transports augmentant, on peut accroître la force de la machine sans ajouter au nombre des ouvriers, tandis qu'au contraire, avec les machines locomotives, on augmente plus volontiers le nombre des machines que leur force. Les machines locomotives traînent leur propre poids, qui est considérable, puisqu'il s'élève quelquefois à près de 10 tonnes, et ne saurait être abaissé au dessous de certaines limites. Elles fatiguent beaucoup les rails, par la grande pression qu'elles leur font supporter. Enfin. la force des machines fixes, pendant qu'elles n'effectuent pas de transports, peut être utilisée : elle peut servir, par exemple, à faire marcher un moulin à blé ou une scierie.

Quant au coût définitif du transport par l'une ou l'autre espèce de moteurs, résultat qui décide la question, on pourra s'en faire une idée en comparant entre eux les divers élémens que nous venons de passer en revue; mais on sent qu'il variera avec les localités. Voici toutefois le tableau comparatif des dépenses générales qu'occasioneraient sur le chemin de Liverpool à Manchester l'emploi des machines fixes et celui des machines locomotives, ces dernières ne servant que sur les parties à peu près de niveau : il a été calculé par MM. Rastrick et Walker.

SYSTÈME.	CAPITAL des machines et de leur attirail.			Dépenses ann., y compris les intér. du capital des machines.			Dép. pour traîner une tonne à 1 mille.
	liv. st.	sh.	pen	liv. st.	sh.	p.	pences.
Des mach. locomotives.	90,403	14	3	43464	9	0	0,2786
Des machines fixes.....	100,862	1	0	33317	7	3	0,2135
DIFFÉRENCE..	10,458	6	9	10147	1	9	0,0651
S. des mach. locomotiv.	Moins.			Plus.			Plus.

Ou en mesures françaises :

SYSTÈME.	CAPITAL des machines et de leur attirail.			Dépenses ann., y compris les intér. du capital des machines.			Dép. pour traîner une tonne à 1 kilom.
	fr.	c.	»	fr.	c.	»	centim.
Des mach. locomotives.	2,273,653	40	0	1,093,130	95	0	1,74
Des machines fixes.....	2,356,680	55	0	837,032	55	0	1,33
DIFFÉRENCE..	263,027	15	0	255,199	40	0	0,41
S. des mach. locomotiv.	Moins.			Plus.			Plus.

On voit que, dans les circonstances où l'on se trouve à Liverpool, l'emploi des machines locomotives exigerait une mise de fonds moindre que celui des machines fixes, mais qu'il occasionerait des frais de halage plus élevés.

Il est bon cependant d'observer que ces calculs ont été établis dans la supposition d'une vitesse de 10 milles à l'heure, et que cette vitesse, sous le rapport de l'économie, est peu avantageuse, surtout pour les machines locomotives qui ont leur propre poids à mouvoir.

On a aussi cet avantage avec les machines lo-

comotives de pouvoir les multiplier suivant les besoins, tandis qu'il faut de suite construire un nombre de machines fixes proportionné à la quantité présumée de transports.

D'un autre côté, les intérêts du capital du chemin et les frais de son entretien ne sont pas compris dans les estimations qui précèdent, et on doit se rappeler que les machines locomotives exigent l'emploi de rails plus forts que les machines fixes.

Du tracé des chemins de fer.

Considérations générales.

Le choix et le tracé d'une ligne sont les plus importans sujets de méditation pour l'ingénieur de chemins de fer. Il y a, dans l'un et l'autre problème, deux questions à résoudre, une question purement commerciale et une question d'art. Il faut combiner habilement les élémens que fournit la solution de chacune d'elles prise séparément, de manière à avoir le produit le plus grand possible pour solution de la question générale; ou, en d'autres termes, il s'agit de choisir parmi plusieurs suites de points celle par où passe un chemin sur lequel le calcul donnera la plus grande somme possible pour les bénéfices pécuniaires, dont l'expression est le montant présumé de la perception des taxes, diminué de l'intérêt des capitaux engagés, de leur dépréciation, des frais d'entretien et d'administration et des frais de transports. L'appréciation du montant des taxes que l'on peut espérer de percevoir sur une certaine ligne et les dépenses de l'administration se rapportent ici à la question commerciale; le calcul des capitaux que nécessiteront probablement les travaux d'art, le matériel, etc.,

ainsi que celui de leur dépréciation, des frais d'entretien et des frais de transport regardent plus particulièrement l'homme de l'art.

Il est clair qu'il n'y a pas de règles fixes à prescrire pour arriver au résultat énoncé ci-dessus; c'est la sagacité de l'ingénieur qui doit décider de la meilleure marche à suivre dans chaque cas. Nous allons par conséquent nous borner à quelques remarques générales.

L'élément principal de la question commerciale est le tonnage ou la quantité de marchandises qui doit circuler sur la ligne du chemin. **Tonnage.**

D'après les dépenses et les profits des différentes grandes routes en fer que l'on a établies dans la Grande-Bretagne et en France, ou d'après les prospectus de celles qui sont en projet dans l'un et l'autre royaume, il ne paraît pas que l'on puisse, à moins de circonstances extrêmement favorables, tirer un intérêt raisonnable des capitaux lorsque le mouvement commercial est moindre que 50,000 tonnes.

De Darlington à Stokton, le mouvement commercial est de 80 à 100,000 tonnes. De Liverpool à Manchester, on compte, d'après le rapport déjà cité de M. Rastrick, sur environ 1,100,000 tonnes de marchandises, dans une année de trois cents jours de travail, et 36,000 tonnes de voyageurs. Sur les 1,100,000 tonnes de marchandises, 600,000 ne parcourent qu'une partie de la route. De Saint-Étienne à Andrezieux, on a transporté de 60 à 80,000 tonnes; de Roane à Andrezieux, on compte sur 160 à 180,000 tonnes à l'ouverture du chemin, et on calcule que 130,000 tonnes environ donneront un intérêt de 10 pour 100 dans le cas d'une voie. De Saint-Étienne à

Lyon, on espère de 350,000 à 400,000 tonnes de marchandises et un grand nombre de voyageurs.

Question du tracé des chemins de fer, considérée sous le point de vue de l'art.

La question du tracé des chemins de fer étant considérée sous le point de vue de l'art, il est certaines règles pour la résoudre, qui s'appliquent à toute espèce de routes, nous n'avons pas à nous en occuper. Nous jetterons seulement un coup-d'œil sur quelques unes des circonstances les plus importantes dans le cas particulier des routes à ornières.

Généralités.

Avant de commencer le tracé d'un chemin à ornières, la première chose à faire est d'établir exactement le coût du transport avec chaque espèce de moteurs, en plaine et sur les diverses espèces de pentes que l'on peut avoir à franchir. Il faut ensuite examiner dans quel sens le mouvement commercial est le plus grand; car le tracé doit être tel que le transport s'effectue le plus facilement dans cette direction. Dans le cas des chemins de fer, lorsqu'on suppose qu'il y aura économie à employer les machines comme moteurs, il ne convient plus, comme pour quelques grandes routes pavées ou macadamisées, de suivre les ondulations du terrain; mais devra-t-on franchir les collines en se développant sur leurs flancs et établissant de grands plans inclinés, au haut desquels on placera des machines fixes, ou sur lesquels on fera usage de l'effet de la pesanteur? Divisera-t-on plutôt la ligne en une série de parties de niveau et de petits plans inclinés, disposés de distance en distance, comme les écluses d'un canal, que l'on franchira aisément avec des chevaux ou même des machines locomotives, ou bien vaudra-t-il mieux, lorsque les circonstances le permettront, percer un sou-

terrain ou faire une coupure, et conserver ainsi à la route soit une horizontalité parfaite, propre à la circulation en tout sens par tout autre moteur que la gravité, soit une pente extrêmement douce, sur laquelle les chariots descendront par leur propre poids et pourront être ramenés par une machine locomotive? Toutes ces questions doivent se résoudre par des calculs basés sur le coût des transports par telle ou telle espèce de moteurs et sur celui des travaux d'art. Il est bon d'observer cependant que les grands plans inclinés paraissent être généralement en usage en Angleterre, et que nous n'avons ouï parler d'aucun chemin où l'on ait divisé la pente en parties de niveau et en plans inclinés de très peu de longueur, comme ont proposé de le faire plusieurs ingénieurs célèbres.

Pentes *maxima*.

Sur les routes ordinaires, on ne craint pas, en Angleterre, une pente moindre que $\frac{1}{30}$; mais sur les chemins de fer, cette pente devra être beaucoup plus faible, surtout s'il s'agit d'employer des machines locomotives. Les renseignemens que nous avons donnés sur la force de ces machines mettront à même de calculer la plus grande inclinaison, sur laquelle l'économie du transport permettra de les adopter dans une certaine localité.

Courbes ou circuits.

Enfin, on devra, dans le tracé d'un chemin de fer, éviter les grands circuits; ils sont surtout nuisibles sur les plans inclinés, quoique en Angleterre des raisons d'économie aient quelquefois forcé à adopter des courbes même dans ce cas. On sent en effet que, dans les circuits, le rebord des roues de chariots étant ordinairement en dedans, une partie de ce rebord apparte-

nant aux roues qui marchent sur la file de rails de la plus grande courbe lui fait corde, et que le rebord des roues qui marchent sur les rails de la plus petite courbe est tangent à celle-ci. De cette manière, les deux roues qui tournent sur la grande courbe éprouvent un frottement beaucoup plus grand que sur une ligne droite. On a imaginé de porter la plus grande partie du poids du chariot sur les deux autres roues, en plaçant la file de rails de la plus grande courbe plus haut que celle de la plus petite; mais cela ne remédie pas entièrement au mal: aussi les courbes de la grande route de Liverpool à Manchester ont-elles toutes au delà de 500 mètres de rayon, excepté une courbe de peu de longueur, à l'entrée de Manchester, à laquelle on a été obligé de donner 180 mètres.

MM. Seguin ont fait de grands sacrifices pour donner à toutes leurs courbes, sur la route de Saint-Étienne à Lyon, 500 mètres au moins de rayon. Il paraît qu'à Darlington il y a des courbes d'un assez petit rayon, qui occasionent une augmentation assez notable dans les frais de transport. Sur le chemin de Saint-Étienne à Andrezieux, les courbes ont de 75 à 100 mètres: c'est une faute de construction dont on n'avait pas pu prévoir les inconvéniens lorsqu'on a construit ce chemin de fer, le premier de quelque étendue que l'on ait vu en France. Le chemin de Roane à Andrezieux aura des courbes de 200 mètres; mais on les a adoptées par pure raison d'économie.

On ne trouve nulle part de résultats d'expériences faites pour déterminer l'augmentation de

force motrice que nécessitent sur les chemins de fer des courbures données et de l'évaluation des extra-réparations aux rails auxquelles elles donnent lieu. Sans des données numériques à cet égard, il est impossible de balancer exactement les dépenses qu'épargne ou entraîne l'adoption de courbes d'un certain diamètre.

Voici maintenant des détails sur le tracé de plusieurs routes en fer.

Le profil de la route de Liverpool à Manchester est une ligne brisée, qui se compose de parties droites, dont nous donnons dans le tableau suivant la longueur et l'inclinaison.

Route de Darlington à Stokton.

nal du Génie civil, des renseignemens sur la route de Darlington. Nous en extrayons ce qui suit (1) : « Cette ligne a été assez généralement favorisée par le niveau du terrain, à l'exception des cinq premiers milles, depuis le point du départ, où l'inégalité du sol a dû rendre le tracé de la ligne irrégulier. Elle commence dans la vallée où coule la Wear, dont la rive droite est distante d'un mille de Wilton-Park et Etherley : son point d'élévation au dessus du niveau de la mer est de 470 pieds anglais. Entre cette vallée et la rivière Gaundless, branche de la Wear, le terrain s'élève graduellement et forme l'escarpement d'Étherley, qu'il est nécessaire de franchir. Son élévation est de 646 pieds au dessus du niveau de la mer. On découvre, du sommet, la vallée de Gaundless, qui s'abaisse à une profondeur de 320 pieds. Comme il serait impraticable de la combler, au moyen d'une digue, pour le passage de la voie de fer, celle-ci descend dans la vallée par un plan incliné, et remonte par un plan opposé le monticule nord de Brusselton jusqu'à la hauteur de 470 pieds, au revers de laquelle elle retrouve, après une contre-pente douce peu prolongée, un terrain de niveau, et qui varie peu pendant les vingt milles qui lui restent à parcourir pour arriver à Stokton.

» Nous avons dit, dans le premier exposé, que, sur toute la ligne, les voitures de transport n'ont à franchir que les hauteurs d'Étherley et de Brusselton, par des plans inclinés plus ou moins faciles et à l'aide de machines à vapeur placées

(1) Voyez *Journal du Génie civil*, troisième livraison de 1828.

sur leur sommet. La machine à vapeur d'Étherley est de la force de trente chevaux, celle de Brusselton de soixante ; elles enlèvent un train de huit chariots chargés de vingt et un tonneaux pesant de charbon, formant trente et un tonneaux avec les dix du poids des voitures. La rampe à gravir, à Étherley, est d'un demi-mille et l'élévation perpendiculaire est de 180 pieds. La descente du revers est de plus d'un mille et de 312 pieds. Les chariots descendent entraînés par leur propre poids, et le câble auquel ils sont attachés, se déroulant autour d'un cabestan, sert à en régulariser la descente et à modérer sa rapidité ; il prend et élève, en retour, les chariots vides venant de Stokton ; le convoi descendu du plan incliné d'Étherley arrive, au bout de $\frac{5}{4}$ de mille, au pied du plan incliné de Brusselton, qu'il franchit par le même moyen. Le plan ascendant est de la longueur d'un mille sur une hauteur perpendiculaire de 150 pieds ; la descente au revers est, sur 90 pieds de perpendiculaire, d'un peu moins d'un demi-mille. Du pied de la colline de Brusselton jusqu'à Stokton, distant de vingt milles, on ne rencontre plus d'obstacles ; le terrain, quand il n'est pas parfaitement de niveau, n'ayant qu'une pente de 1 sur 104. »

Route établie par M. Thompson aux environs de Newcastle.

Voici, pour la route en fonte que M. Thompson a établie récemment aux environs de Newcastle-sur-Tyne, un tableau semblable à celui que nous avons donné pour celle de Liverpool.

	DÉSIGNATION des SUBDIVISIONS de la ligne.	LONGUEUR.		INCLINAISON			
				EN MONTANT.		EN DESCEND[ANT]	
		Yards.	Mètres.	En fractions ordin.	En fractions décim.	En fractions ordin.	En fr[ac]tio[ns] déci[m.]
Tr. eff. par mac. fixes.	De Fawdon........	11	10,06	»	de	niveau	
	Plan dit *Brunton-Plane;* machine de 12 chevaux............	924	844,62	$\frac{1}{52}$	0,0190	»	»
Transports effectués avec des chevaux.	Plan dit *Triune-Plane :*						
	1re. partie.........	924	844,6	»	de	niveau	
	2e. partie.........	550	502,75	$\frac{1}{1800}$	0,0006	»	»
	3e. partie.........	880	80 41	»	de	niveau	
	4e. partie.........	528	48 64	»	»	$\frac{1}{240}$	0,0
	Plan dit *Wide Open-Plane*..............	704	643,53	»	»	$\frac{1}{78}$	0,01
	Plan dit *Weetslade-Plane :*						
	1re. partie.........	1232	1126,17	$\frac{1}{514}$	0,0019	»	»
	2e. partie.........	1078	987,40	$\frac{1}{600}$	0,0017	»	»
Transports effectués par machines fixes ou par la gravité.	Plan dit *Killingworth-Plane ;* mach. de 24 chevaux :						
	1re. partie........	352	321,76	$\frac{1}{80}$	0,0125	»	»
	2e. partie.........	935	854,68	$\frac{1}{58}$	0,0172	»	»
	Plan dit *Bacworth-Plane ;* machine de 6 chevaux :						
	1re. partie........	1260	1151,77	»	»	$\frac{1}{150}$	0,0
	2e. partie.........	1056	965,29	»	»	$\frac{1}{100}$	0,0
	Plan dit *Shiremoor-Plane;* mach. de 12 ch.	1562	1427,82	$\frac{1}{171}$	0058	»	»
	Plan dit *Murton-Row-Plane*..........	1760	1608,82	»	»	$\frac{1}{123}$	0,0
	Plan dit *Flateworth-Plane ;* mac. de 24 ch.						
	1re. partie........	2068	1800,36	»	»	$\frac{1}{63}$	0,0
	2e. partie.........	596	544,80	»	»	$\frac{1}{128}$	0,0
	Plan dit *Percy-Plane ;* mach. de 8 chev..	800	731,28	»	»	$\frac{1}{83}$	0,0
	Parties (*siding*) entre les plans inclinés.....	95	86,84	»	»	$\frac{1}{180}$	0,0
	Plan dit *Tyne-Plane,* construit en planches au dessus des talus de la Tyne............	180	164,54	»	»	$\frac{1}{12}$	0,0

La longueur totale de la route est de 17375 yards ou $9\frac{3}{4}$ milles, plus 193 yards ou 15,882 mètres.

M. Rastrick, qui a visité cette route après nous, a reconnu que la puissance que l'on attribue aux différentes machines placées au sommet des plans inclinés avait été mal appréciée. Ainsi, il a observé que :

		faisait l'ouv. de
La mach. du *Brunton-Plane*,	dite de 12 chev.	16 à 22 ch.
du *Killingworth-Plane*.	de 24 chev.	36 à 46 ch.
du *Backworth-Plane*...	de 6 chev.	10 à 12 ch.
du *Shiremoor-Plane*...	de 12 chev.	12 à 13 ch.
du *Flateworth-Plane*.	de 24 chev.	18 à 24 ch.
du *Percy-Plane*......	de 8 chev.	12 à 13 ch.

La machine de Shiremoor ne traîne ordinairement que huit chariots avec leur charge (15631 kil.), celle de Flateworth en met jusqu'à seize en mouvement.

La nouvelle route que l'on fait près de Glascow, entre le canal dit *Junction-canal* et le chemin de fer appelé *Monkland-road*, a, sur une longueur de $2\frac{1}{2}$ milles à peu près (4 kilom.), une pente de $\frac{1}{55}$ à $\frac{1}{60}$ (de 0,0182 à 0,0167), puis elle reste constamment de niveau. On n'était pas encore décidé sur la nature du moteur dont on se servirait. Route aux environs de Glascow.

La route de Saint-Étienne à Lyon a une pente uniforme, en descendant, de 0,013446 entre Saint-Étienne et Rive-de-Gier.

De Rive-de-Gier au pont du canal, l'inclinaison est de 0,00569, et de ce point jusqu'à Lyon elle ne s'élève jamais au dessus de 0,00056. On Route de St.-Étienne à Lyon.

nombres, qui, bien que ne formant pas par leur réunion un ensemble complet, ne seront cependant pas sans intérêt.

Frais d'établissement.

En Angleterre, les travaux, autant que cela peut se faire, se donnent à l'entreprise, très peu s'exécutent en régie. Sur la nouvelle route de Glascow, on fournissait aux entrepreneurs les rails en fer, ainsi que les supports en bois pour établir les chemins provisoires dont ils se servent pour les transports de déblais ; mais ils se procuraient les chariots et tous les outils qui leur étaient nécessaires.

Au surplus, des détails sur ce sujet se rapportant à la construction de toute espèce de routes, nous ne nous y arrêterons pas. On en trouvera dans les ouvrages de M. Dupin, de M. Dutens, d'Edgeworth et d'autres auteurs qui ont écrit sur la matière.

Nous tâcherons de nous former une idée du prix de construction d'une certaine étendue de route en fer et du rapport qui existe entre ses divers élémens en étudiant les devis des principales voies de ce genre, construites, en construction ou en projet.

Voici deux devis de la route de Liverpool à Manchester correspondant à deux projets différens, l'un de M. Rennie, l'autre de M. Stephenson. C'est le plan de M. Rennie qui a été adopté, quoique les dépenses d'exécution soient plus considérables, parce que de trop fortes oppositions se sont élevées au Parlement contre celui de M. Stephenson; mais c'est M. Stephenson qui a été chargé de la direction des travaux. Ces devis

nous ont été communiqués par M. Stephenson lui-même.

Devis de la route de Liverpool à Manchester.

	liv. st.	liv. st.
Achats de terrain..........	74,685	70,000
Travaux de terrassemens, ponts et maçonnerie, barrières, etc.........	224,946	110,248
Galerie (*tunnel*)............	25,932	»
Façon de la route et pose des dés..	41,827	30,917
Rails et chairs (coussinets).....	78,038	77,738
Hangars, bâtimens, etc.........	25,000	27,000
Dépenses diverses............	39,574	26,597
Magasins, etc., aux points de station de Liverpool et Manchester........	»	30,000
Chariots pour faire la route......	»	4,000
Études et Acte du Parlement.....	»	10,000
Machines locomotives..........	»	13,500
TOTAL....	510,002	400,000

On voit que, dans le devis de M. Rennie, l'Acte du Parlement, les machines, etc., ne sont pas comptés. En admettant, puisque les deux lignes proposées sont à peu près de la même longueur, que le coût des machines locomotives et chariots pour faire la route fût le même dans l'un et l'autre cas, et portant la valeur de l'Acte du Parlement à 30,000 liv. sterl. au lieu de 10,000, ce qui a eu lieu en réalité, nous trouvons, pour le prix de construction du chemin et le coût des machines locomotives, une somme d'à peu près 600,000 liv. sterling (environ 15,000,000 francs) : c'est aussi l'estimation donnée par le *Journal de Manchester*.

Si de ces 600,000 liv. st. on supprime 75,000 environ pour frais de matériel, magasins à Liverpool et Manchester et Acte du Parlement, il restera 525,000 liv. sterl. pour coût approximatif de la route entière. La longueur de ce chemin étant de 31 $\frac{1}{4}$ milles, cela fait, par mille anglais de

double voie, 16,800 liv., ou, par kil., 262,500 fr.

MM. Walker et Rastrick ont porté la valeur des machines à une somme beaucoup plus élevée que M. Stephenson; car, en supposant un transport journalier de 2,000 tonnes dans chaque direction, ils ont estimé que le capital des machines serait, si l'on se servait de machines fixes, 110,162 livres sterling, et si l'on employait les machines locomotives, 90,504 livres sterling: encore ces ingénieurs ont-ils fait abstraction du coût de deux machines fixes de soixante chevaux, qui doivent être placées à l'extrémité de la tonnelle, et dont il n'était pas nécessaire de faire entrer les dépenses dans leur calcul, d'après le but qu'ils se proposaient; mais M. Stephenson ne paraît pas s'être attaché à donner une évaluation complète des moteurs, puisqu'il ne fait aucune mention des machines fixes.

Voici actuellement le prix de construction d'un chemin de fer à simple voie établi dans les environs de Glascow:

Prix de construction d'un chemin de fer aux environs de Glascow.

	liv. st.
Achats de terrains, travaux de terrassement, pose des rails, travaux d'arts, etc.	28,500
600 tonnes de rails en fer malléable, pesant 28 liv. par yard et coûtant 15 liv. st. (375 fr.) la tonne, dont 484 tonnes pour la route et 116 tonnes pour les places de rencontre.	9,000
Coussinets en fonte.	2,000
Jonctions en fonte	170
Chevilles	30
Dés	1,800
Chariots, supports, etc., que nécessitent les travaux de terrassement	1,000
Acte du Parlement, plans et autres dépenses extraordinaires.	1,500
Direction et levée des plans.	2,000
Dépenses extraordinaires et imprévues.	4,000
TOTAL. . . .	50,000

Si nous soustrayons 1,000 liv. st. pour l'Acte du Parlement, il nous reste, pour les frais de construction de la route, qui a 11 milles de long, 49,000 liv. sterl.; ce qui fait, par mille anglais, 4,454 liv. st., ou, par kilomètre, 63,350 francs.

On trouve dans l'ouvrage anglais de Gray (1) le devis suivant, par M. Jessop, ingénieur civil, d'un chemin de fer à double voie, qui doit être établi entre les canaux navigables de Cromford et de Peak-Forest :

Devis d'un chemin de fer en Derbyshire.

	liv. st.	sh.	d.
Achats de terrain, indemnités, travaux de terrassement, travaux d'arts, études, etc.	42,010	16	8
Galerie de 1,400 mètres.	5,700	»	»
Rails en fer coulé.	61,950	»	»
Dés, coussinets, chevilles, pose, etc...	5,800	»	»
Magasins et places de chargement et déchargement...	2,000	»	»
Dépenses extraordinaires portées à 10 pour 100.	11,746	»	»
Machines à vapeur, etc.	20,000	»	»
	149,206	16	8

Si nous soustrayons le prix du matériel, il nous restera environ 130,000 l. st. pour le coût du chemin, dont la longueur est 32 milles. Cela fait donc 4,125 liv. st. par mille, ou environ 64,450 francs par kilomètre.

On rencontre sur la ligne de ce chemin des pentes assez fortes à franchir. Si cependant, dit M. Jessop, d'une part l'état montagneux du pays rend la dépense considérable, d'autre part on trouve en abondance d'excellens matériaux, et on peut considérer les circonstances comme favorables.

(1) *Observations on a general iron-rail-way* by Thomas Gray. 5e. édit. London, 1825, p. 33.

Le devis qu'ont publié MM. Seguin des dépenses qu'entraîne la construction de la route en fer à double voie de Saint-Étienne à Lyon est le suivant (1) :

Devis de la route en fer de Saint-Étienne à Lyon.

	fr.	c.
Achats de terrain	1,323,439	55
Terrassemens et maçonnerie	3,735,456	31
Rails, à raison de 520 francs la tonne de 1,000 kilog	1,579,894	36
Chairs ou coussinets, à 400 fr. la tonne	303,100	97
Dés en pierre	249,330	01
Pose	107,345	02
Matériel pour la construction du chemin, hangars, etc	422,697	97
Pont de la Mulatière	218,328	19
Traitement d'employés	250,636	99
Frais généraux	361,832	04
Intérêts des fonds, dépenses imprévues	300,000	»
Matériel pour le transport, machines locomotives et chariots	1,109,510	25
TOTAL	9,961,571	66

Disons 10,000,000. Si l'on soustrait 1,400,000 francs pour matériel et intérêts de fonds pendant la construction, élémens que nous n'avons pas fait entrer dans nos calculs précédens (2), il reste 8,600,000 fr. pour le prix de construction du chemin qui a 56 kilomètres de longueur : cela fait, par kilomètre, environ 153,571 fr.; mais on observera qu'il faudra vaincre de grandes diffi-

(1) Voyez *Rapports du Conseil d'administration à l'assemblée des actionnaires*, du 20 décembre 1828, p. 24.

(2) Nous avons fait abstraction de l'intérêt des fonds, parce qu'il ne paraît pas entrer dans d'autres devis que nous citons, et que nous n'aurions pas su comment l'estimer exactement, pour ensuite arriver à une comparaison des différens prix de construction.

cultés pour établir cette route, puisque sur 56,000 mètres il y en a 3,920 en percement.

Les dépenses pour l'établissement du chemin de fer de Saint-Étienne à la Loire se sont élevées à une somme de 1,556,000 f., ainsi répartie:

Prix de construction du chemin de fer de Saint-Étienne à la Loire.

	francs.
Achats de terrain....................	330,000
Terrassemens, travaux d'arts et ponts....	368,000
Dés en pierre et pose des rails...........	179,000
Fer et fonte achetés en 1825 (s'ils eussent été achetés en 1828, on eût trouvé une économie de 150,000 francs)......................	524,000
Frais généraux de construction, etc.......	60,000
Frais généraux de gestion, étude de projets, conduite de travaux..................	95,000
	1,556,000
Chariots pour les transports............	230,000

Le chemin, avec ses embranchemens, a environ 21 kilomètres de longueur; il est à simple voie. Nous avons donc, pour le prix du kilomètre, environ 74,095 francs.

Devis du chemin de fer de Roanne à Andrezieux.

Les derniers devis (1), que MM. Mellet et Henry ont présentés à leurs actionnaires, donnent des résultats moins élevés. Voici comment ils ont été établis pour un chemin à une seule voie:

(1) Nouveau Rapport aux actionnaires du chemin de fer de Roanne à Andrezieux. Il n'a pas été publié.

	fr.
Acquisition de terrains, terrassemens et travaux d'arts	938,000
Rails en fer malléable, à 420 fr. la tonne. . Coussinets en fonte, à 390 fr. la tonne. . . . Dés en pierre, à 1 fr. le dé, chevilles et pose, y compris les objets nécessaires aux doubles passages.	1,394,270
Travaux accessoires, tels que points de chargement, grues, embarcadaires, etc.	300,000
Frais généraux de conduite, travaux, administration, un dixième.	346,727
Dépenses imprévues, un dixième	346,727
Matériel pour le transport.	835,000
TOTAL.	4,160,724

Si de cette somme nous soustrayons les 835,000 francs pour le matériel, il restera 3,325,724 fr. Soient 3,400,000 fr. pour un chemin à simple voie, de 67 kilomètres, cela fait, par kilomètre, environ 50,746 fr. Cette route est placée dans des circonstances très favorables.

Devis de diverses routes en fer, d'après MM. Navier, Tredgold, Thompson, Buddle et Baader.

M. Navier a porté à 118,000 fr. par kilomètre le prix de construction d'un chemin à deux voies de Paris au Hâvre (1).

D'après M. Tredgold, la dépense moyenne pour l'établissement d'un mille anglais de chemin de fer à deux voies est de 5,000 liv. st. : cela fait environ 78,125 fr. par kilomètre (2).

M. Thompson, ingénieur civil, compte pour les frais d'établissement d'un chemin de fonte à simple voie, dans les environs de Newcastle, qui porterait des chariots contenant 53 quintaux,

(1) *Mémoire sur les chemins de fer de Paris au Hâvre.*

(2) *Traité sur les chemins de fer,* traduit par Duverne, page 200.

1,051 liv. st. 14 shel. 6 d. par mille anglais (1), et M. Buddle, propriétaire et directeur de houillères, 1,041 liv. st. (2). D'après un devis communiqué à M. Baader par un ingénieur très expérimenté (3), on paierait, pour la construction du mille anglais de chemin de fer à ornières plates, dans le pays de Galles, 1,026 liv.; un chemin à ornières saillantes coûte un peu plus cher : la dépense n'excède cependant pas 1,200 liv. st. par mille ; mais dans ces dernières estimations n'ont pas été comptées les indemnités aux propriétaires de terrain, les dépenses pour travaux d'art, etc. Quelque variables que soient ces frais, nous les porterons à environ 1,000 à 1,100 liv. sterl. par mille anglais. Ils seront peut-être moindres dans quelques circonstances, mais ils dépasseront cette somme dans beaucoup d'autres. On arriverait ainsi à une moyenne de 2,200 liv. st. par mille anglais de route en fonte, à une voie, construite aux environs de Newcastle-sur-Tyne ou dans le pays de Galles : cela ferait 34,375 francs par kilomètre.

Ces dépenses seraient incontestablement plus élevées pour un chemin à une voie, établi pour satisfaire aux besoins d'un commerce très actif et sur une longueur un peu considérable. Une pareille route exigerait une exécution plus soignée que les petits chemins à ornières que l'on pose aux environs des mines ou usines, et qu'on ne prolonge guère au delà de la plaine qui forme le

(1) V. *Newcastle. Magazine.* Mai 1822, p. 266.

(2) V. *Journal du Génie civil.* Août 1829, p. 512.

(3) V. *Sur l'avantage de substituer des chemins de fer à plusieurs canaux navigables* ; par M. J. de Baader, page 133. 1829.

fond du bassin houiller; elle réclamerait aussi des rails plus forts si l'on voulait y employer les machines locomotives.

Enfin, le prix du fer étant de 12 à 14 l. st. la tonne, ceux du bois et de la main-d'œuvre étant très peu élevés et les indemnités très faibles, une longueur de 40 milles anglais de chemins en bois et fer a coûté, en Bohême, 94,400 liv. st. (1); sur cette somme, il y a 8,303 liv. st. pour le matériel. Nous ignorons s'il s'agit ici en même temps du matériel nécessaire à la construction de la route et de celui qui servira ensuite aux transports. En supposant que le premier cas ait lieu, nous admettrons qu'une partie des chariots dont on aura fait usage pour les terrassemens pourront être employés lorsque la route sera achevée, ou du moins être revendus. En raison de cette circonstance, et aussi afin de ne pas tenir compte des intérêts d'argent négligés dans toutes nos autres estimations, et portés par M. Gerstner à 211 liv. st., nous réduirons le prix de construction des 40 milles anglais de routes à ornières à 91,400 liv. st. : cela fera, par mille anglais, 2,285 livres, ou, par kilomètre, 35,700 fr.

Résumé. En résumé, nous aurons pour les frais d'établissement d'un kilomètre de chemin de fer, sans compter les intérêts des capitaux pendant les travaux d'exécution :

1°. Si le chemin est à double voie :

---

(1) Ces renseignemens sont extraits d'un plan gravé du chemin, accompagné de données que M. Gerstner nous a communiquées, mais qui n'a pas été publié.

a) En Angleterre : En fer malléable, de Liverpool à Manchester, en construction...	262,500 fr.
——— En fonte, du canal de Cromford à celui de Peak-Forest, en construction.	64,450
Moyenne, d'après M. Tredgold..........	78,125
b) En France : En fer malléable, de Saint-Étienne à Lyon, en construction	153,571
——— De Paris au Hâvre, en projet	118,000

2°. Si le chemin est à simple voie :

a) En Angleterre : En fer malléable, aux environs de Glascow, exécuté	63,350
——— En fonte, aux environs de Newcastle-sur-Tyne ou dans le pays de Galles, chemins construits................	34,375
c) En France : En fonte, de Saint-Étienne à Andrezieux, construit	74,095
——— En fer malléable, de Roanne à Andrezieux, en construction...........	50,746
c) En Allemagne : En bois et fer, en Bohême.........................	35,700

On ne devra pas, comme l'a fait M. Baader (1), calculer le prix d'une route à deux voies en doublant celui d'un chemin à une seule voie, puisque les mêmes travaux de nivellement sont nécessaires dans l'un et l'autre cas, et qu'il n'y a de différence dans l'ensemble des travaux de terrassement que la largeur que l'on donne aux remblais. On observera aussi que cette dernière dimension dans un chemin à deux voies n'est pas exactement le double de ce qu'elle est dans un chemin à une voie. Le rapport entre les frais

(1) *Sur l'avantage de substituer des chemins de fer à plusieurs canaux navigables, etc.*, p. 132 et suivantes.

de construction d'un chemin à double voie et ceux d'un chemin à simple voie variera avec le prix du fer; mais il est évident qu'il sera plus grand en France qu'en Angleterre, puisque le prix du fer y est plus élevé et celui de la main-d'œuvre moindre que dans ce pays.

Prix moyen de construction d'un kilomètre de chemin de fer.

Si l'on se rappelle les circonstances plus ou moins favorables dans lesquelles ont été construits les différens chemins à ornières dont nous avons parlé, si l'on en considère le petit nombre, et enfin si l'on songe que bien peu sont terminés, on trouvera difficile de déduire de la liste que nous avons présentée de leurs frais de construction le coût moyen d'un kilomètre de route en fer. Faut-il cependant exprimer une opinion à cet égard? Nous pensons qu'au prix actuel du fer et de la main-d'œuvre le prix d'un kilomètre de chemin à ornières de fer, placé dans des circonstances favorables, abstraction faite de l'intérêt de l'argent pendant le temps de la construction et du coût du matériel pour les transports, serait :

Si le chemin est à double voie :

En Angleterre, de. . . . . 85,000 à 90,000 francs.
En France, de . . . . 90,000 à 95,000.

S'il est à simple voie :

En Angleterre, de. . . . . . 55,000 à 60,000 francs.
En France, à peu près de même, ou peut-être de...... 60,000 à 65,000.

Nous pensons qu'en France les rails des nouveaux chemins sont un peu trop légers si l'on veut se servir de machines locomotives comme moteurs. Dans le cas où on leur substituerait

des rails de force convenable, ils coûteraient plus cher que nous ne l'avons indiqué. Un chemin à simple voie reviendrait peut-être à 70 ou 75,000 fr.

Frais d'entretien, perception, administration, etc., des chemins de fer.

Les différens auteurs qui ont écrit sur les chemins de fer ne s'accordent pas sur l'évaluation de leurs frais d'entretien, perception, etc. Quelques uns nous paraissent les avoir portés beaucoup trop haut. Passons d'abord leurs opinions en revue.

Opinions de différens auteurs sur les frais d'entretien, administrat., etc., des chemins de fer.

M. Huerne de Pommeuse, dans son ouvrage sur les canaux (1), suppose que l'entretien d'un chemin de fer coûte beaucoup plus que celui d'un canal.

M. Girard, en parlant des chemins de fer (2), dit : « Les charges annuelles des concessionnaires, estimées, comme pour les routes ordinaires, au taux de 10 pour 100 pour l'intérêt du capital primitivement employé, les frais d'administration, de surveillance des travaux et de perception du péage, seront de 9,681 fr. par kilomètre. »

M. Tredgold, supposant que le mille anglais de chemin de fer à double voie coûte 5,000 liv. st., compte 1°. 417 liv. st. pour l'intérêt des capitaux, proportionné au risque que l'on court de les perdre, ou plus de 8 pour 100 ; 2°. 100 liv. st. pour réparations de toute espèce, soins journaliers, etc. ; 3°. 40 liv. st. pour frais de recettes,

(1) *Sur les canaux navigables* ; par M. Huerne de Pommeuse, membre de la Chambre des députés, p. 141-144.

(2) *Introduction au Mémoire sur les grandes routes, etc.*, de M. F. de Gerstner ; par M. Girard, Ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. cxv.

administration, etc.; ce qui fait 140 liv. pour les dépenses d'entretien, administration, etc., ou 2,8 pour 100 du prix de la construction, et en tout 557 liv. st., ou plus de 10 pour 100 du capital primitif.

M. Navier, dans son mémoire sur le chemin de fer de Paris au Hâvre, ne porte les frais d'entretien, administration, etc., de ce chemin qu'à 450,000 francs, ce qui fait 1,451 pour 100 du capital de la construction.

M. Baader admet pour le même objet 5 pour 100, mais en y comprenant les frais d'entretien des chariots, que M. Navier porte à 2 $\frac{1}{2}$ centimes par lieue et par tonne (1).

« Les frais d'entretien d'un chemin de fer, dit M. A. de Gerstner (2), s'élèvent tout au plus au cinquième de ceux d'une route, et que l'on compte à 5 pour 100 des frais d'établissement. Pour être tout à fait sûr de mes résultats, je les suppose de 2 $\frac{1}{2}$ pour 100. »

Enfin, MM. Mellet et Henry, dans leur mémoire sur le chemin de fer de Roanne à Andrezieux, portent les frais d'entretien à 100,000 francs, ou 1 $\frac{1}{2}$ pour 100 environ du capital employé pour la construction du chemin, et ne comptent que 60,000 fr. pour les frais d'administration, perception, garde, etc., après l'achèvement du chemin : cela ferait en tout un peu moins de 2 $\frac{1}{2}$ pour 100 du prix d'établissement.

Revenons aux données de M. Girard. Cet ingénieur, lorsqu'il compte pour les intérêts du capital de la construction, les frais d'entretien, etc.,

(1) *Sur l'avantage, etc.*, p. 68.
(2) *Journal du Génie civil.*

d'un chemin de fer, 10 pour 100 des frais d'établissement, n'indique pas à combien il porte le taux de l'intérêt. Il nous est donc impossible de dire avec certitude quelle est la portion qu'il réserve aux frais d'administration, entretien, etc. Quoi qu'il en soit, nous ne pensons pas avec lui que les charges des concessionnaires de routes en fer et de routes ordinaires soient dans le même rapport avec le capital de la construction. Nous les croyons moindres dans le premier cas, surtout si le chemin de fer a été primitivement bien établi avec des rails en *fer malléable* de force suffisante et si l'on emploie les machines locomotives, qui ne dégradent pas le sentier entre les rails.

Frais d'entretien d'un chemin de fer en Écosse.

En Écosse, on comptait pour un chemin long de onze milles, coûtant 49,000 liv. st. à construire, 1000 liv. st. pour les frais d'entretien, administration, perception, etc., non compris les intérêts des capitaux, cela fait un peu plus de 2 pour 100; sur ces 1000 liv. st., 365 étaient données aux entrepreneurs des réparations; ce qui fait environ 33 liv. st. par mille (516 fr. par kilomètre.)

A Darlington.

A Darlington, on paie 35 liv. sterl. pour le même objet. Les entrepreneurs se chargent d'entretenir la voie de terre, de redresser les rails, etc.; mais les propriétaires fournissent les bandes de fer, les dés, etc.

D'après les devis de M. Jessop.

M. Jessop, dans son rapport aux actionnaires de la route entre le canal navigable de Peak-Forest et celui de Cromford, compte 30 livres st. par mille pour les entrepreneurs de l'entretien du chemin et 1,040 pour les frais d'administration, perception, etc. : ce qui fait, en tout,

2,000 liv. st. pour une route de 32 milles, à deux voies, ou environ 1 $\frac{1}{2}$ pour 100 des frais de construction, portés à 150,000 liv. st.

Conclusion.

D'après ce qui précède, nous nous rangerons à l'opinion de MM. Mellet et Henry, qui regardent 2 $\frac{1}{2}$ pour 100 du capital de la construction comme une évaluation suffisante des frais d'entretien, administration et perception.

Les frais d'administration restant à peu près les mêmes, que la route soit longue ou courte, à simple ou à double voie, la somme totale à laquelle on parvient, en les additionnant avec les frais d'entretien et de perception, est une fraction un peu plus petite du capital de la construction pour une route longue ou à double voie.

Quant au taux de l'intérêt, proportionné aux risques de l'entreprise, il est assez difficile de le déterminer; mais on sait qu'en France on compte ordinairement retirer des capitaux placés dans l'industrie de 8 à 10 pour 100, bénéfices compris.

Frais de halage.

Répartition des frais de halage.

Les frais de halage se composent de

1°. Les intérêts du capital du moteur;
2°. La diminution de valeur du moteur;
3°. Les intérêts du capital des chariots;
4°. La diminution de valeur des chariots;
5°. Les frais de réparations au moteur et aux chariots, de combustible, main-d'œuvre, etc.
6°. Si l'on emploie des chevaux, le danger de les perdre; si l'on se sert de machines, les risques d'accident.
7°. Les bénéfices de l'entrepreneur;
8°. Les intérêts des capitaux engagés pour subvenir aux dépenses énoncées.

Si l'on veut comparer le mérite de deux moteurs différens, il conviendra d'ajouter à ces frais de halage proprement dits.

9°. L'intérêt du capital de la route et les frais d'entretien ;

10°. Les intérêts des capitaux engagés pour subvenir aux frais d'entretien.

Car ces deux élémens peuvent varier avec le moteur, puisque l'on sait, par exemple, que les machines locomotives exigent des rails plus forts ou dégradent davantage les ornières que les machines fixes.

Frais de halage sur les chemins de niveau, avec chevaux, d'après M. Tredgold.

Occupons-nous d'abord des frais de halage sur les chemins de niveau.

En admettant :

	sh.	d.
Qu'un cheval coûte 20 liv. st. (500 fr.), et que les intérêts de cette somme, la diminution de la valeur du cheval et le risque de le perdre, doivent être portés à un quart du prix d'achat ; ce qui fait 5 liv. st. (125 fr.) pour une année de trois cent douze jours de travail, ou par jour.	»	3,8
Que le salaire d'un conducteur prenant soin de deux chevaux est de 2 sh. par jour ; ce qui fait par jour et par cheval.	1	»
Que l'entretien journalier du cheval (nourriture, fers et harnais) est de	2	7

M. Tredgold trouve que l'entretien d'un cheval revient à 3 sh. 10 $\frac{1}{2}$ pences ($4^{f},85$) par jour environ. En y ajoutant les bénéfices de l'entrepreneur, tenant compte de l'intérêt du capital des chariots, de leur diminution de valeur et des réparations qu'ils exigent, et supposant que l'effet journalier d'un cheval est de 108 tonnes, transportées à un mille, il trouve que le transport d'une tonne à un mille, par la force animale,

coûte $\frac{60}{100}$ de penny (1); ce qui fait 3,8 cent. pour une tonne de 1000 kil. à 1 kilomètre.

En Ecosse.

D'après des renseignemens que nous avons recueillis en Écosse, un cheval, aux environs de Glascow, coûte 10 liv. st. (250 fr.); son entretien journalier 2 $\frac{1}{2}$ shell. (3f,15); et le salaire d'un conducteur, prenant soin de deux chevaux, est de 2 sh. 6 d. par jour. En suivant la même marche que M. Tredgold, nous trouvons que, dans ce cas, l'entretien du cheval, non compris les bénéfices de l'entrepreneur, est de 3 sh. 11 d. environ par jour.

D'après M. Thompson.

M. Thompson, en admettant probablement dans son calcul les mêmes élémens que M. Tredgold, c'est à dire en y faisant entrer les dépenses relatives aux articles 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 de l'état que nous avons établi, et négligeant celles qui correspondent aux articles 8, 9 et 10, trouve $\frac{50}{100}$ de penny; ce qui fait 3,1 centimes par tonne et par kilomètre. D'après de nouvelles estimations du même ingénieur, rapportées par M. Walker, la moyenne des dernières années ne se serait pas élevée au dessus de $\frac{45}{100}$ de penny par tonne et par mille ou 2,9 cent. par tonne et par kilom.

A Darlington.

La société des actionnaires de la route de Darlington paie 10 pences par tonne de houille transportée à une distance de 20 milles, c'est à dire $\frac{1}{2}$ penny par tonne et par mille (3,1 cent. par

(1) M. Girard porte ce nombre à $\frac{77}{100}$ de penny, en calculant séparément les gages de l'homme qui conduit le cheval et celui de l'individu qui le soigne; mais nous ferons observer que le travail journalier d'un cheval sur un chemin de fer, équivalant au transport de 200 tonnes à 1 mille et non à celui de 108 tonnes, comme l'admet M. Tredgold, $\frac{50}{100}$ de penny est déjà une évaluation trop élevée des frais de halage d'une tonne à 1 mille.

tonne et kilomètre); mais les entrepreneurs sont obligés, pour ce prix, de ramener les chariots vides au point de départ.

M. Navier, calculant les frais de transport par chevaux, et négligeant, comme M. Tredgold, les dépenses relatives aux articles 8, 9 et 10 de l'état précédent, les porte à 3,7 centim. par tonne et par kilomètre. D'après M. Navier.

Ainsi en Angleterre et en Écosse, les frais de transport varieraient entre $\frac{45}{100}$ et $\frac{60}{100}$ de penny par tonne et par mille, ou entre 2,9 centim., et 3,8 centim. par tonne et par kilomètre. Conclusion relative aux frais de transport par cheval en plaine.

En France, dans certaines localités, ils monteraient à 3,7 centim. par tonne et par kilomètre.

A Darlington, la société des actionnaires paie aux entrepreneurs de transport, par machines locomotives, $\frac{1}{4}$ penny (2,5 centim.) par tonne et par mille), et ceux-ci se chargent des frais de main-d'œuvre, charbon, graisse, etc. La société fournit la machine et la répare; cette dernière dépense se monte seulement à environ $\frac{1}{8}$ de penny (1,2 centim.) par tonne; mais il paraît que le transport avec machines locomotives devient, par suite de la détérioration qu'elles font éprouver aux rails, presque aussi coûteux que le transport avec chevaux. Frais de transport en plaine, avec machines locomotives, à Darlington.

L'intéressant rapport de MM. Walker et Rastrick nous fournira enfin des documens précieux pour montrer comment les différentes parties des frais de transport, avec machines locomotives et machines fixes, se répartissent, et pour en comparer l'ensemble. D'après le rapport de MM. Walker et Rastrick.

Voici le détail du coût d'une machine locomotive de dix chevaux, que l'on calcule traîner, en hiver, par jour de dix heures, en plaine, 1,050 ton- Prix d'achat et dépenses annuelles

d'une machine locomotive.

nes à un mille avec une vitesse de 10 milles à l'heure.

	liv. st.	sh.	d			
Achat de la machine.	550	»	»			
Comme ordinairement sur cinq machines il y en a une qui ne travaille pas et reste en réserve, pour remplacer celle qui serait hors de service, on ajoute 1/5 pour la machine en réserve	110	»	»			
Train d'approvisionnement. . . .	50	»	»			
1/5 pour le train en réserve. . .	10	»	»			
	720	»	»			
Supposant que la machine dure vingt ans, on compte pour intérêts et détérioration, par an				55	16	»
Un tube pour le foyer et un devant de cheminée, renouvelés tous les trois ans, 37 liv. 10 shel.: cela fait par an	12	10	»			
Entretien de la chaudière. . . .	3	»	»			
Une cheminée, chaque année, coûte, déduction faite de la valeur des vieux matériaux	7	10	»			
Six assortimens de barres pour la grille	6	»	»			
Un assortiment d'essieux, chaque année, coûte, déduction faite de la valeur des vieux matériaux.	10	»	»			
Roues	36	»	»			
Diverses petites réparations. . .	12	»	»			
Réparations au train d'approvisionnement	2	10	»			
	89	10	»			
1/5 en sus pr. la mac. de rechange.	17	18	»			
				107	8	»

	liv. st.	sh.	d.			
Un machiniste, pendant cinquante-deux semaines, à 21 shell. par semaine	54	12	»			
Aide, à 10 shell. par semaine.	26	»	»			
382 tonnes de houille, à 5 shel. 10 d. par tonne	111	8	4			
Huile, graisse, chanvre, etc.	12	»	»			
				204	»	4
Dépense totale				367	4	4

Répartition des dépenses sur chaque tonne transportée à un mille.

La route de Liverpool à Manchester étant parcourue par cent deux machines locomotives semblables à la précédente, il faut dix réservoirs placés à égale distance sur la ligne avec une petite machine de deux chevaux et des pompes auprès de chaque réservoir. Cela donne lieu à une nouvelle dépense annuelle de 922 liv. st. 10 sh., qui, répartie entre cent deux machines, se réduit, pour une seule machine, à 9 liv. 0 sh. 10 d. En ajoutant cette somme à celle trouvée précédemment pour les autres frais annuels, on obtient, pour le total, 376 liv. 5 sh. 2 d.

La partie de la route sur laquelle vont les machines locomotives a 30 milles de longueur; les plans inclinés de Rainhill et de Sutton en occupent 3 milles. Les machines locomotives accompagnent les convois de chariots lorsqu'ils passent ces rampes; mais toute leur force est employée en montant à traîner leur propre poids.

Soit la circulation de 4,000 tonnes par jour, ou 1,248,000 tonnes par année de trois cent douze jours.

La partie du chemin qui peut être considérée comme de niveau a 27 milles de longueur. La

dépense totale des cent deux machines locomotives est donc appliquée au transport de 1,240,000 tonnes à cette distance, ou de 33,696,000 tonnes à un mille, et la dépense d'une seule machine à celui de $\frac{33.696,000}{102} = 330,353$ à 1 mille : d'où l'on tire, pour les frais de halage à un mille en plaine, $0^{d},2733$, ou, pour une tonne, à un kilomètre, $1^{cent.},78$.

Le transport sur les plans inclinés revient annuellement à 5,085 liv. st. 17 sh.

Frais de transport lorsque la vitesse est de 5 milles à l'heure.

Nous avons supposé que les machines faisaient 10 milles à l'heure; nous voyons, d'après le tableau de MM. Walker et Rastrick, que si elles ne parcouraient que 5 milles, elles traîneraient, en hiver ou en été, dans le même temps, une quantité de marchandises deux fois et demie aussi pesante que dans le premier cas. Leurs effets vénaux seraient donc, avec ces deux degrés différens de vitesse, $: : 10 : 2\frac{1}{2} \times 5 : : 4 : 5$, et les frais de halage en raison inverse. On paierait donc, pour transporter une tonne à un mille, à raison de 5 milles par heure, $0^{d},2128$, et à 1 kilomètre, $1^{cent.},17$.

Frais de transport en plaine avec machines stationnaires.

Nous allons donner maintenant le compte détaillé des frais de transport, avec machines stationnaires, sur la route de Liverpool à Manchester, entre l'extrémité de la galerie du côté de Manchester et cette dernière ville : on passe dans ce trajet deux plans inclinés. En soustrayant les dépenses qui leur sont relatives, on arrive aisément au prix de transport d'une tonne à un mille en plaine.

Machines, à la station de Manchester.

Prix d'achat et dépenses annuelles des machines stationnaires.

	liv. st.	sh.	d.			
Deux machines de douze chevaux, de 500 liv. st. chaque...	1,000	»	»			
Attirails et treuils......	200	»	»			
Bâtimens pour les machines et cheminée..........	400	»	»			
Logement...............	75	»	»			
Pompe et bassin.........	50	»	»			
				1,725	»	»
Deux machines de trente chevaux, de 1,200 liv. chaque.	2,400	»	»			
Attirail et treuils.........	400	»	»			
Bâtiment pour les machines et cheminée...............	500	»	»			
Logement............	100	»	»			
Pompe et bassin........	100	»	»			
	3,500	»	»			
Quinze stations semblables...................			15			
				52,500	»	»
Deux machines de vingt chevaux, de 900 liv. chaque.....	1,800	»	»			
Attirail et treuils........	300	»	»			
Bâtiment et cheminée....	450	»	»			
Logement...........	75	»	»			
Pompe et bassin.......	85	»	»			
	2,710	»	»			
Trois stations semblables.	3			3,130	»	»
Dépense *extra* pour les fondations des bâtimens dans les marais de Chatmosse..................				3,400	»	»

	liv. st.	sh.	d.	liv. st.	sh.	d.
Deux machines de soixante chev. pour le plan incliné de Rainhill, à 1,700 liv. st. chaque	3,400	»	»			
Attirail	500	»	»			
Bâtiment et cheminée	700	»	»			
Logement	100	»	»			
Pompe et bassin	100	»	»	4,800	»	»
Deux machines de soixante chevaux pour le plan incliné de Sutton				4,800	»	»
Machine additionnelle de trente chevaux et attirail, placée à l'extrémité de la galerie				2,000	»	»
Treize mille quatre-vingt-dix poulies, avec soutiens et pose, celles-ci étant éloignées de 8 yards les unes des autres, et revenant à 15 sh. en place				9,817	10	»
Total				87,172	10	»

Dépense annuelle.

	liv. st.	sh.	d.	liv.	sh.	d.
Intérêt du capital, 87,172 l. 10 sh., à raison de 6 1/2 pour 100, y compris la dépréciation				5,666	4	3
Entretien des chaudières et barres de la grille pour une force de 1314 chevaux	246	8	6			
Entretien des machines et de leur attirail	473	18	»			
Huile, graisse, chanvre, etc.	270	16	»			
Entretien de treize mille quatre-vingt-dix poulies	250	»	»	1,241	2	6

				liv. st.	sh.	d.
Houille pour une force de 1314 chevaux travaillant dix heures par jour, y compris celle qui est employée pour échauffer les fourneaux le matin et celle avec laquelle on entretient la production de vapeur pendant le jour, 30,458 tonnes, à raison de 2 sh. 6 d. par tonne.				3,807	5	»
Quarante-trois machinistes et aides pendant cinquante-deux semaines, à raison de 21 sh. par semaine.	2,347	16	»			
Quarante-deux hommes auprès des freins de machines, vingt et un aides, quarante-quatre hommes pour suivre les chariots, à 15 sh. par semaine	4,173	»	»			
Dix hommes pour graisser les poulies, à raison de 15 sh. par semaine	390	»	»			
15 gallons d'huile pour les poulies, à raison de 2 sh. 6 d. le gallon.	187	10	»			
				7,098	6	»
Dépense totale pour une force de 1314 chevaux.				17,812	17	9

Cordes.

114 milles (833,12m.) de corde, de 3 1/2 pouces de circonférence, pesant 104 tonn. 12 qx. 3/4 12 liv., revenant à 42 liv. la tonne, déduction faite de la valeur des vieilles cordes.	4,395	»	»

6 milles (9,648 mèt.) de

	liv. st.	sh.	d.			
corde, de 5 1/2 pouces de circonférence pour les plans inclinés de Rainhill et Sutton, 17 tonnes 16 liv., à 42 l. st..	792	»	»			
Trente conduits pour renfermer la corde qui passe sous la route, à 10 liv. st	300	»	»			
				5,487	»	»
Intérêt à 5 pour 100 de ce capital.				274	7	»

Usure des cordes.

	liv. st.	sh.	d.			
27 milles (43,416 mèt.) de cordes sur les parties de niveau, en supposant un transport de 4,000 tonnes par jour (2,000 tonnes dans chaque direction), à raison de 8/100 de penny par tonne et par mille, pour trois cent douze jours	11,232	»	»			
6 milles de cordes de 5 1/2 pouces, en supposant un transport de 12,000 tonnes à un mille par jour, à raison de 21/100 de penny par tonne et par mille, pour trois cent douze jours.	3,276	»	»			
3 milles de cordes attachées aux chariots (*tail ropes*), pour Rainhill et Sutton, en comptant 4,000 tonn. par jour, égales à 3,744,000 tonnes, à un mille par an, à raison de 2/100 de penny par tonne et par mille.	321	»	»			
				14,820	»	»
Total pour cordes et conduits.				15,094	7	»
Différens articles, à raison de 25 liv. st. par station. . . .	550	»	»			
Intérêt de ce capital, à 5 pour 100.				27	10	»

Objets de rechange.

	liv. st.	sh.	d.
114 milles (188,312 mètres) de cordes de rechange de 3 1/2 pouces, ou 104 tonnes 12 quintaux 3 quarts et 12 liv., à raison de 51 liv. st. la tonne, neuves........	5,336	16	9
6 milles de cordes de rechange de 5 1/2 pouces, pour Rainhill et Sulton, 18 tonnes 17 quint. 16 liv., à 51 liv. st.	961	14	3
Objets de rechange pour toutes les machines.....	1,354	»	»
Total..........	7,652	11	»

	liv. st.	sh.	d.
Intérêt de ce capital à 5 pour 100..........................	382	12	6

Résumé des frais annuels.

Frais annuels pour les machines......	17,812	17	9
—— pour les cordes et conduits......	15,094	7	»
—— pour divers articles..........	27	10	»
—— pour objets de rechange.........	382	12	6
Dépense totale.........	33,317	7	3

Les machines, au sommet des plans inclinés, sont plus fortes dans ce dernier cas que lorsqu'on emploie les machines locomotives : cela tient à ce qu'une partie de leur force sert à aider la machine fixe placée au milieu du plateau qui les sépare; mais la dépense relative au transport sur les pentes doit être portée à 5,085 liv. st. 17 sh., comme dans le premier système.

Répartition de la dépense totale sur chaque tonne transportée à un mille.

Il restera alors pour les frais de halage de 1,248,000 ton. à 27 milles, ou de 33,696,000 tonnes à 1 mille, 28,231$^{liv.}$ 10 sh. 3 pences, ce qui fait 0^{d},2011 par tonne et par mille en plaine, ou 1$^{cent.}$,25 par tonne et kilomètre.

Addition aux frais de halage de l'intérêt du capital des chariots, etc.

Voyons maintenant à combien s'élèveraient les frais de transport, sur la route de Liverpool, avec l'une et l'autre espèce de machines, en ajoutant les intérêts des capitaux engagés, pour subvenir aux dépenses journalières (houille, main-d'œuvre, etc.), l'intérêt du capital des chariots, la somme correspondant à leur diminution de valeur, ainsi qu'à leurs frais d'entretien, l'intérêt du capital et les frais d'entretien de la route.

Frais complets de transport avec machines locomotives faisant 10 milles à l'heure.

Occupons-nous d'abord du système dans lequel on emploie les machines locomotives.

Les capitaux engagés pour subvenir aux dépenses journalières de chaque machine, y compris celle des réservoirs, se montent à 316 livres st. 10 sh. 10 d. : l'intérêt, par tonne, à un mille, est de 0^{d},0115.

Le capital employé en chariots, dit M. Tredgold, sera, terme moyen, d'environ 10 liv. st. par tonneau, et en portant les réparations et les remplacemens à une liv. st. par tonneau, par an, la dépense annuelle sera d'environ 2 liv. st. par tonneau, par an, ou de 7 farthings (18 centimes) par jour, pour chaque tonneau, bénéfice compris.

Cette estimation correspond au cas où l'on se sert de chevaux et ne fait parcourir à un chariot que 18 milles par jour.

La même dépense pour une tonne transportée à un mille serait de $\frac{7 \text{ farth.}}{18}$, ou 0^{d},10 ; mais si le

moteur est une machine qui imprime une grande vitesse à la charge : comme les chariots se détruisent beaucoup plus vite, on peut la supposer de $0^d,15$, et c'est ce nombre que nous adopterons pour les machines fixes comme pour les machines locomotives. Le salaire des hommes qui accompagnent les chariots a été porté dans les comptes de MM. Walker et Rastrick.

D'après le devis que nous avons donné de la route de Liverpool, on voit que le capital dont le transport doit payer l'intérêt, dans lequel nous comprenons les frais d'étude et l'Acte du Parlement, est de 544,002 liv. st. Les 5 pour 100 de ce capital égalent 27,200 liv. st. ; cette somme, répartie sur 1,248,000 tonnes transportées à $31\frac{1}{4}$ milles, ou 39,000,000 tonnes à un mille, donne, pour chaque tonne à un mille, $0^d,1674$.

Soient les frais d'entretien $2\frac{1}{2}$ pour 100 du capital 544,002, et supposons-les égaux pour le système locomotif comme pour le système stationnaire, quoique en réalité ils soient plus grands dans le premier cas, cette dépense par tonne et par mille sera de $0^d,0837$.

Nous avons donc pour les frais complets du transport d'une tonne à un mille, avec les machines locomotives, sauf une partie des bénéfices de l'entrepreneur, qui n'a pas été comptée,

1°. Si les machines locomotives font 10 milles à l'heure :

Intérêt du capital des machines, dépréciation, combustible, main-d'œuvre, etc.	0d, 2733
Intérêt des capitaux engagés pour subvenir aux dépenses journalières.	0 ,0115
Intérêt et dépréciation du capital des chariots, entretien et bénéfice de l'entrepreneur.........	0 ,1500
Intérêt du capital de la route.	0 ,1674
Entretien de la route.	0 ,0837
Total.	0 ,6859

Cela fait, par tonne et kilomètre, 4,29 centim.

Avec les machines ne faisant que 5 milles à l'heure.

2°. Si les machines locomotives font 5 milles à l'heure :

Intérêt du capital des machines, dépréciation, combustible, etc.	0,2277
Autres frais.	0,4126
	0,6403

Cela fait, par tonne et kilomètre, 4^c,002.

Frais complets de transport avec les machines fixes.

Pour les machines fixes, l'intérêt du capital de la route, l'entretien et l'intérêt et frais d'entretien des chariots, sont les mêmes; il ne nous reste à calculer que l'intérêt des capitaux engagés.

Comme nous avons déjà compté l'intérêt d'une somme assez considérable représentant la valeur de cordes et parties de machines de rechange, et que, d'ailleurs, les frais de main-d'œuvre pour les réparations ne sont pas comparativement très élevés, nous ne porterons rien à ce chapitre, et nous ne prélèverons que l'intérêt des capitaux engagés pour combustible, salaire des ouvriers, etc. : ceux-ci se montent à 11,176 liv. st. 7 sh. pour la force de 1,314 chevaux, qui est la puissance totale des machines placées depuis

l'extrémité de la galerie du côté de Manchester jusqu'à cette ville ; les capitaux engagés pour la portion de force des machines situées au sommet de plans inclinés, qui sert au transport sur ces plans, sont de 947 liv. 4 sh. Reste, pour ce qui concerne les machines qui opèrent le transport en plaine, 10,229 liv. 3 sh. : d'où l'on déduit pour chaque tonne à un mille, 0,0036.

Ainsi les frais complets de transport avec machines fixes, sauf une partie des bénéfices de l'entrepreneur, qui n'a pas été comptée,

Intérêt du capital des machines, dépréciation, combustible, main-d'œuvre, etc.	0,2011
Intérêt des capitaux engagés pour subvenir aux dépenses journalières.	0,0036
Autres frais.	0,4011
Total.	0,6058

Ce qui fait, par tonne et par kilomètre, 3c,782.

Ces frais de transport sont calculés dans l'hypothèse d'une très grande circulation. Si le mouvement commercial était moindre, les dépenses ne diminueraient pas dans le même rapport. *Observation sur l'évaluation des frais de transport.*

Il suit de ce qui précède que si l'on ne tient pas à une grande célérité dans un pays où la main-d'œuvre et le fourrage sont à bon marché, tandis que la houille ne se vend pas à un prix excessivement bas comme en Angleterre, le transport par chevaux serait le plus économique : nous signalons ce résultat, afin que l'on ne se fasse pas des idées chimériques des avantages que présente l'emploi des machines,

Il nous reste à évaluer les frais de transport sur les plans inclinés.

Si sur de faibles pentes on emploie des ma- *Frais de transport sur*

des plans inclinés. Avec machines locomotives.

chines locomotives, il est aisé, avec les renseignemens que nous avons donnés sur ce moteur, de calculer les dépenses correspondant à une charge et à une inclinaison connues.

Avec machines fixes.

Sur des rampes plus fortes, on se sert de machines fixes. L'élément le plus difficile à calculer est la durée du câble, et on ne voit pas trop comment établir entre son usure, l'inclinaison du plan, sa longueur, l'épaisseur des cordes et le nombre de tonnes une relation numérique exacte, au moyen de laquelle on partirait des frais connus, dans un certain cas, pour le calculer dans un autre; les autres élémens sont très aisés à déterminer.

Difficulté de calculer la durée des cordes.

Les causes principales de destruction de la corde sont 1°. le frottement qu'elle exerce sur la gorge des poulies; 2°. la tension qu'elle éprouve suivant sa longueur; 3°. les cahots ou chocs subits du convoi; la température, peut-être même la vitesse, quoique le frottement en soit indépendant, et plusieurs autres causes de moindre importance. Le frottement est proportionnel à la composante normale du poids absolu, et les effets de la température, en tant qu'ils changent avec la tension, varient aussi suivant le degré d'inclinaison du plan. Nous supposerons cependant qu'en pratique l'action du frottement et celle de la température sont les mêmes sur une pente quelconque; mais il nous reste à calculer les effets produits par la tension et par les cahots. La tension d'un point quelconque de la corde est proportionnelle à la force de traction nécessaire pour vaincre le frottement, au poids relatif du convoi, c'est à dire à la composante du poids absolu parallèle à la ligne de pente, enfin au poids relatif de

la portion de corde située au dessous de ce point. Elle varie donc pour chaque point, et c'est ce qui rend difficile d'apprécier son influence sur le plus ou moins de durée des cordes.

Si l'on se sert de cordes sans fin, chacune des portions du câble sera exposée aux mêmes causes de destruction ; mais avec une simple corde s'enroulant sur un treuil, si on ne trouve pas moyen d'attacher successivement l'une et l'autre extrémité au convoi, on conçoit que les parties qui s'enroulent les premières ou se déroulent les dernières frotteront pendant un temps moindre, mais éprouveront une tension plus grande que les autres ; enfin, il est presque impossible de déterminer le rapport numérique entre l'inclinaison et l'action des cahots. Nous croyons inutile de rien ajouter pour montrer combien il est difficile d'évaluer, même par approximation, la durée des cordes sur des plans inclinés de pente donnée, autrement que par l'expérience directe. Cela serait encore moins aisé s'il fallait faire entrer dans le calcul l'épaisseur du câble.

M. Walker, en partant de la durée des cordes sur le plan incliné de Brusselton, la calcule pour un plan de niveau, mais en tenant seulement compte de l'effet du poids relatif des chariots. Le poids relatif de la corde semblerait pourtant ne devoir pas être entièrement négligé.

Voici quelques renseignemens sur ce sujet, que nous extrayons du rapport de MM. Walker et Rastrick.

Renseignemens extraits du rapport de MM. Walker et Rastrick.

Les cordes employées coûtant 51 livres sterl. (1,275 fr.) la tonne, quel que soit leur diamètre, et ayant ordinairement de $3\frac{1}{2}$ à $5\frac{1}{2}$ pouc. ($0^m,089$ à $0^m,140$) de circonférence :

M. Thompson a trouvé que la dépense moyenne d'entretien et remplacement des cordes sur une route avec plusieurs plans inclinés, et où l'on employait en plusieurs endroits le *reciprocating-system*), n'était que de 0^{penny},051 par tonne et par mille (0,32 cent. par tonne et kilomètre); mais le transport de la houille n'avait lieu qu'à la descente, et on ne ramenait à la remonte que les chariots vides.

D'après M. Storey, la dépense de cordes sur le plan incliné de Brusselton, dont la pente moyenne est de $\frac{1}{33}$ (0,0303), est de $\frac{1}{4}$ de penny par tonne et par mille (1,6 centim. par tonne et kilomètre), sans rien compter pour la corde attachée à la queue du convoi, et dite *tail-rope*.

Le *reciprocating-system* ayant été adopté sur la partie inférieure du chemin de Hetton, près New-castle, l'ingénieur a dit à MM. Walker et Rastrick que l'on avait transporté 301,800 tonnes à 2 $\frac{1}{2}$ milles pour 780 liv. st. : ce qui, servant de base pour calculer la durée des cordes en plaine, a donné à MM. Walker et Rastrick 0^p,1300 par tonne et par mille sur un chemin de niveau.

MM. Walker et Rastrick ont adopté, comme nous l'avons vu plus haut, 0^p,08 par tonne et par mille (0,5 centim. par tonne et kilom.), pour calculer les frais de transport sur la partie du niveau de la route de Liverpool à Manchester. Sur ces 0^p,08, ils comptent 0^p,02 pour la *tail-rope*, et 0^p,06 pour l'autre corde.

Enfin, voici le détail des frais de transport sur les plans inclinés de Rainhill et Sutton, la pente étant de $\frac{1}{96}$ (0,0104) et la longueur de 1 $\frac{1}{2}$ mille (2,400^m).

Frais de transport sur les plans inclinés de Rainhill et Sutton.

	liv. st.			liv. st.	sh.	d.
Deux machin. de cinquante chevaux chacune, avec attirail, etc.	4,100	»	»			
Poulies sur les deux lignes, à 8 yards de distance l'une de l'autre, 660 à 15 sh. pièce...	495	»	»			
Intérêt de ce capital.	4,595	»	»	298	13	6
Réparations, graisse, etc.				98	4	»
Houille, 2,262 ton., à 2 s. 6 d. la tonne.				282	15	»
Main-d'œuvre.				152	2	»
Huile pour les poulies. . . .				18	15	»
Dépense annuelle pour les machines et poulies de Rainhill				850	9	6
Id. pour Sutton				850	9	6
Total.				1,700	19	»

Cordes.

	liv. st.	sh.	d.
Quatre cordes pour ces deux plans inclinés, longues de 2,640 yards, chacune ayant 5 1/2 pouc. de circonférence, pesant 377 qx., coûtent, déduction faite de la valeur des vieux câbles, à raison de 42 l. st. la tonne.	792	»	»
Douze conduits en fonte, dans lesquels la corde passe sous les routes qui croisent le chemin de fer, 12 tonnes, à 10 liv. la tonne.	120	»	»
	912	»	»
Intérêt de ce capital. . . .	45	12	»

Usure des cordes, en comptant 2,000 tonn. de marchandises, à 6 milles, ou 12,000 tonnes, à 1 mille par jour, à

raison de 0p,21 par tonne et par mille, pour 312 jours....	3,276 » »	
Dépense totale en cordes et conduits pour les cordes...		3,321 12 »
Quatre cordes de rechange pour Rainhill et Sutton, 18 tonn. 17 quint. 16 liv., à 51 l. la tonne	961 14 3	
Objets divers, et objets de rechange pour les machines..	300 » »	
	1,261 14 3	
Intérêt de ce capital..............		63 6 »
Dépense annuelle totale pour les deux plans inclinés...........		5,085 17 »

Ou, en argent de France, 147,909 francs 15 centimes.

Nous nous sommes étendus longuement sur les détails des frais de transport, parce qu'ils présentent le plus grand intérêt à toutes les personnes qui s'occupent de chemins de fer, et parce que les importans travaux de MM. Walker et Rastrick ne sont pas encore connus chez nous.

Nous ne garantissons pas tous les chiffres donnés par ces ingénieurs. En les comparant avec les indications fournies par M. Tredgold et d'autres auteurs, nous les croyons exacts; mais il ne sera pas moins convenable de les vérifier en pratique par tous les moyens possibles, avant de s'en servir pour calculer les chances de succès d'une entreprise. Les Anglais publient rarement des renseignemens techniques aussi détaillés, et, lorsqu'ils le font, on peut craindre qu'ils ne les rédigent dans l'intérêt des compagnies plus que dans celui de la vérité.

Des tarifs.

Le Gouvernement, en accordant l'autorisation d'établir un chemin de fer, détermine le maximum des droits que peuvent percevoir les propriétaires pour le passage ou le transport.

En Angleterre. Sur la route de Liverpool.

En Angleterre, ce maximum varie suivant la nature de la marchandise. Voici ce que nous lisons dans l'Acte du Parlement approuvé par le Roi, le 5 mai 1826, lequel autorise la création de la route à ornières de Liverpool à Manchester (1).

Il est permis à la compagnie de percevoir, pour *le passage,* sur la route en fer, un droit qui n'excédera pas :

	Par tonne et mille.	Par tonne et kilom.
Pour toute pierre calcaire.........	1 penn.	6,25 c.
Pour la houille, la chaux, et pour toute espèce d'engrais ou de matériaux pour l'entretien des grandes routes....................	1 1/2	9,37
Pour le coke, le charbon de bois, le sable, l'argile, les pierres de taille, et en général pour matériaux de construction................	2	12,50
Pour le sucre, le grain, le bois de construction, le plomb, le fer et les autres métaux..............	2 1/2	15,62
Pour le coton, la laine, les cuirs, les objets manufacturés, etc......	3	18,75

Le prix du transport s'élevant à moins de 1 sh. (1f,25) par tonne, la compagnie peut exiger un shelling.

La compagnie est aussi autorisée à percevoir un droit sur les voyageurs passant sur la route en fer dans leur voiture; mais elle ne peut les taxer à plus de 1 ½ sh. (1f,89) pour toute distance

(1) Page 81.

égale à 10 milles ou au dessous (16,000 mètres), et à plus de 2 $\frac{1}{2}$ sh. (3f,15) pour toute distance entre 10 et 20 milles ; enfin, à 4 sh. (5 francs) pour toute distance au delà de 20 milles.

Les bêtes de charge ou de trait, transportées en voiture, ne devront pas payer au delà de 2 $\frac{1}{2}$ shellings (3f,15) pour toute distance égale à 15 milles (24,120) ou au dessous et au delà de 4 shellings (5 francs) pour toute distance plus grande.

Les veaux, brebis ou porcs ne pourront être taxés à plus de 9 pences (90 cent.) pour quelque distance que ce soit.

La compagnie est aussi autorisée à transporter toute espèce de marchandises, objets manufacturés, etc. ; mais elle ne pourra exiger pour la distance totale aucun droit dépassant :

	Par tonne et mille.
Pour la chaux, la pierre calcaire, toute espèce d'engrais, matériaux pour l'entretien des routes ou pour les constructions, etc., 8 shell. par tonne, et comme la taxe pour de moindres distances doit être proportionnelle à leur rapport avec la long. totale, cela fait environ..	3,07 penc.
Pour le sucre, le grain, les métaux, etc., 9 sh. par tonne ; ce qui fait environ......	3,45
Pour le coton, la laine, les épiceries, etc., 11 sh. par tonne, ou environ..........	4,22
Pour le vin, les esprits, le verre et autres objets susceptibles de s'avarier aisément, 14 sh. par tonne, ou environ..............	5,37

Enfin, pour la houille, le coke, le charbon de bois, etc., la compagnie ne pourra percevoir aucun droit dépassant 2 $\frac{1}{2}$ pences (25 centim.) par tonne et par mille, et elle fixera, pour le transport

des voyageurs et animaux, tel prix raisonnable qui lui conviendra.

Quelle que soit la distance parcourue, la compagnie peut refuser de recevoir moins de 2 shel. (2f,50) par tonne.

Sur la route de Darlington.

L'acte de concession du chemin de Darlington à Stokton contient des dispositions à peu près semblables à celles que nous venons d'indiquer dans le précédent. De plus, la compagnie est autorisée à percevoir un surcroît de taxe au passage des plans inclinés.

Rarement les propriétaires de chemins de fer profitent-ils des avantages que leur laissent ces tarifs; la concurrence les oblige à entrer dans des arrangemens moins onéreux pour le commerce.

En France sur la route de Roanne à Andrezieux.

Le cahier des charges pour l'établissement d'un chemin de fer d'Andrezieux à Roanne fixe à 15 centimes, par tonne et kilomètre, à la descente, et à 18 centimes, à la remonte, le maximum du droit que peuvent percevoir les concessionnaires.

De Saint-Étienne à Lyon.

MM. Seguin ont soumissionné, pour la route de Saint-Étienne à Lyon, à $9^c,8$ par tonne et kilomètre dans toute direction.

De Saint-Etienne à la Loire.

Sur le chemin de Saint-Étienne à la Loire, le tarif légal est de 1,8 cent. par hectol. de houille (80 kil.) ou par 50 kilog. de marchandises.

Comparaison des canaux et des chemins de fer.

Les chemins de fer, considérés comme voie de communication pour un commerce très actif, ont à redouter plus particulièrement la concurrence des canaux. La question des avantages relatifs de l'un ou de l'autre mode de transport est

assez compliquée. L'un de nous, M. Perdonnet, en ayant fait une étude spéciale et ayant rassemblé sur cette matière des données que peut-être il publiera, nous prendrons une partie de ce qui suit dans son mémoire inédit.

Les principaux élémens de la comparaison entre les canaux et les chemins de fer sont 1°. les frais de construction et les frais d'entretien de l'une et l'autre espèce de voie; 2°. les frais de halage sur chacune d'elles.

Lorsqu'on considère combien sont étendues les limites dans lesquelles varient les prix de construction des canaux dans diverses localités, il ne paraît pas qu'il puisse être d'une utilité réelle de comparer, comme l'ont fait quelques auteurs, les moyennes des frais de construction d'un certain nombre de canaux et de chemins de fer pour en déduire une différence en faveur de l'un ou de l'autre genre de voies de communication; il règne d'ailleurs beaucoup d'incertitude et de contradiction dans les prix d'établissement de canaux qui ont été publiés, et il existe un bien petit nombre de routes en fer de quelque longueur, servant de grande voie de communication, qui soient entièrement achevées.

Si cependant on veut tirer quelques inductions des données que l'on possède aujourd'hui, il paraîtrait que généralement :

Comparaison entre les frais de construction, d'entretien et de halage.

1°. Dans des circonstances moyennement favorables, la construction d'un kilomètre de canal coûte plus cher que celle d'un kilomètre de chemin de fer. La différence en faveur du chemin de fer est trop variable, suivant les localités, pour que l'on cherche à en donner une évaluation numérique.

2°. Les frais d'entretien d'un kilomètre de canal sont plus grands que ceux d'un kilomètre de chemin de fer.

3°. Adoptant sur chaque voie de communication le moteur qui lui convient le mieux et la vitesse que l'on donne communément à ce moteur, les frais de halage sont moindres sur le canal que sur le chemin de fer.

Ces résultats s'appliquent à la France comme à l'Angleterre.

Cela posé, l'intérêt des capitaux restant le même pour un tonnage quelconque, et les frais d'entretien étant considérés comme ne variant pas sensiblement ou comme augmentant et diminuant avec le tonnage, à peu près d'une même somme pour le canal et pour le chemin de fer, il arrivera que : *ne tenant compte que des trois élémens précités, le chemin de fer et le canal donneront, pour un certain tonnage, les mêmes profits, mais que, pour un tonnage moindre, l'avantage sera du côté des chemins de fer et pour un tonnage supérieur du côté du canal.* Influence du tonnage sur les bénéfices.

Nous avons dit que, dans des circonstances moyennement favorables, la construction d'un kilomètre de chemin de fer était généralement moindre que celle d'un kilomètre de canal. Mais comme les chemins de fer peuvent être tracés dans beaucoup d'endroits où l'on ne saurait faire passer un canal, il suit de là que la ligne de communication entre deux points donnés sera généralement plus courte si elle a été établie par un chemin de fer que si elle l'avait été par un canal.

Lorsque les canaux sont sans écluses, ou qu'ils n'en requièrent qu'un petit nombre comme Cas particuliers dans les-

quels les canaux ont incontestablement l'avantage.

presque tous ceux de la Lombardie, une grande partie des canaux de la Flandre et de la Belgique, lorsqu'ils suivent en partie le lit des rivières, quelquefois même lorsqu'ils ne sont que latéraux à un fleuve, ils se construisent à bon marché, exigent moins de dépenses pour leur entretien et l'emportent alors, sans aucun doute, sur les chemins de fer.

Supériorité du chemin de fer lorsque les transports doivent s'effectuer avec une grande vitesse.

Attache-t-on quelque importance à une circulation rapide, veut-on spéculer sur le transport des voyageurs aussi bien que sur celui des marchandises, le chemin de fer acquiert de suite une supériorité incontestable sur le canal. En effet, si un cheval faisant 2 milles à l'heure tire sur un canal de petite section trois fois, et sur un canal de grande section peut-être quatre ou cinq fois autant que sur un chemin de fer, la résistance de l'eau croissant comme le carré de la vitesse et le frottement sur les rails en étant indépendant, il arrive qu'à un certain degré de vitesse $3\frac{1}{2}$ milles (5,628 m.) à l'heure, suivant M. Wood la même force tire autant sur le chemin de fer que sur le canal, et que, si la vitesse est plus grande, cette force tire davantage sur le chemin de fer. On observera aussi que, sur un canal, le passage des écluses retarde la circulation bien plus que celui des plans inclinés sur un chemin de fer.

Circonstances diverses qui peuvent faire pencher la balance en faveur du canal ou du chemin de fer.

Viennent enfin un grand nombre de circonstances, dont plusieurs peuvent, suivant les localités, acquérir un degré d'importance suffisant pour faire donner la préférence à telle ou telle voie de communication, les autres avantages étant égaux.

D'un côté, le canal peut servir au dessèche-

ment et à l'irrigation (1); il convient mieux que le chemin de fer au transport de certaines marchandises dont on ne peut pas aisément diviser le poids, ou qui craignent les chocs (2); s'il aboutit par une de ses extrémités à une rivière, ou un lac, il n'y a pas lieu à décharger et recharger les marchandises en passant de l'un à l'autre; il fournit quelquefois de l'eau à des usines, et peut même servir à en donner à un port de mer. Le bruit qu'occasionent les machines et le frottement des chariots sur le chemin de fer est souvent désagréable pour les personnes dont la route traverse la propriété, le canal ne présente pas un pareil inconvénient, etc.

D'un autre côté, les filtrations du canal, si les digues ne sont pas parfaitement construites, peuvent faire tort à l'agriculture, et c'est ce qui arrive assez souvent; les canaux chôment pendant les grandes gelées et les sécheresses, tandis que les transports s'effectuent

---

(1) Voici ce que dit M. Ravinet (*Dict. hydrographique*, 1824, page 67) du canal de Charras, situé dans le département de la Charente-Inférieure :

« Le vaste terrain qu'il traverse était enseveli presque toute l'année sous des eaux stagnantes, l'air était pestilentiel et la terre ne produisait que des roseaux et des joncs. Depuis que ce canal est ouvert, l'atmosphère est pure et le sol donne d'excellens pâturages et des blés de très bonne qualité. »

Les riches plaines de la Lombardie doivent en grande partie leur fertilité aux nombreux canaux qui les arrosent.

(2) On lit, dans le cahier des charges pour l'établissement d'un chemin de fer d'Andrezieux à Roanne : « Toutefois le transport des masses indivisibles *pesant plus de deux mille kilogrammes* ne sera point obligatoire. »

en toute saison sur les chemins de fer (1). Les réparations que nécessitent les écluses ou autres parties d'un canal sont plus longues à faire et nuisent davantage à la circulation que celles que réclame un chemin de fer; les canaux enlèvent plus de terrain à l'agriculture que les chemins de fer (2); s'ils fournissent de l'eau à quelques établissemens, ils en enlèvent à d'autres, auxquels elle serait nécessaire; il est peu de localités où il n'y ait possibilité d'établir un chemin de fer, puisque les pentes, si ce n'est dans quelques cas très particuliers, peuvent être aisément franchies: il en est beaucoup où un canal est presque im-

(1) En hiver, on balaie la neige déposée sur les chemins de fer avec des espèces de charrues.

(2) Le nouveau chemin à deux voies, aux environs de Glascow, occupera une largeur de 36 pieds, ou à peu près 12 mètres au sommet des remblais. L'Acte du Parlement pour l'établissement de la route de Liverpool à Manchester, dont la largeur a été calculée pour trois voies, ne permet pas de lui donner une section de plus de 22 yards, ou environ 20,11 mètres partout où il n'y aura pas lieu à établir des magasins, des places de rencontre, et où il ne se trouvera pas des vallées à passer au moyen de remblais, ou des collines à traverser par des coupures; enfin, la route à deux voies, de Saint-Etienne à Lyon, a moins de 8 mètres de largeur, au niveau du plan sur lequel sont posées les ornières. La plupart des canaux en France ont au moins 10 mètres à la ligne d'eau, beaucoup en ont de 15 à 20. Le canal latéral à la Loire aura 15 mètres, et il faut ajouter à ces nombres la largeur des chemins de halage, qui est au moins de 2 mètres. Pour le canal latéral à la Loire, on a acheté des bandes de terrain de la largeur de 40 mèt. sur presque toute sa longueur; enfin, l'espace qu'occupent les bassins d'alimentation, les rigoles, etc., pour les canaux, dépasse de beaucoup celui que peuvent exiger les places de rencontre, emplacement de machines fixes, etc., pour les chemins de fer.

praticable, puisqu'il exige une certaine quantité d'eau pour l'alimenter et ne pourrait être construit dans un pays de montagnes sans un trop grand nombre d'écluses ; l'effet de la gravité, au lieu d'être nuisible sur un chemin de fer, est au contraire souvent employé avec avantage. Il n'en est pas de même pour un canal, puisque les plans inclinés et les bateaux à roulette paraissent abandonnés; le canal entrave bien plus que le chemin de fer la communication dans le sens perpendiculaire à la longueur; les marchandises qui craignent l'humidité sont, sur un canal, plus sujettes à s'avarier (1). Un canal exige ordinairement plus de temps pour sa construction et entraîne par conséquent dans une perte d'intérêts d'argent plus grande. Enfin, le mode de communication par chemins de fer paraît, bien plus que celui par canaux, susceptible d'améliorations, surtout sous le rapport des moteurs. Depuis peu d'années que l'on s'en occupe sérieusement, on a apporté plusieurs perfectionnemens importans aux machines locomotives. Le mode de communication par canaux n'offre pas les mêmes espérances. Il est resté à peu près stationnaire depuis le jour où il a commencé à se répandre. De nombreux essais que l'on a faits pour mouvoir les bateaux par la vapeur sur les canaux ordinaires ont été infructueux (2).

(1) De ce nombre est le coke pour les hauts-fourneaux.

(2) M. Mallet, Ingénieur en chef des ponts et chaussées, dans un article traduit de l'anglais (*Journal du Génie civil*, 8e. livr., p. 374), parle cependant de nouvelles expériences, faites récemment, sur l'application du halage par la vapeur à la navigation intérieure, qui paraissent avoir eu quelque succès.

Il n'est pas vrai de dire que, pour de grandes distances, les chemins de fer sont inférieurs aux canaux.

Quelques ingénieurs prétendent que les chemins de fer ne sauraient être supérieurs aux canaux que lorsqu'ils ont peu de longueur. Nous ne concevons en aucune manière sur quoi peut se fonder une pareille opinion, nous serions plutôt portés à adopter un avis opposé. Que l'on suppose les deux points entre lesquels on veut établir une communication très éloignés l'un de l'autre, ne voit-on pas que plus la distance est grande, plus il y a de chances de rencontrer un de ces obstacles qui s'opposent au passage d'un canal, une de ces grandes pentes que le cours d'eau doit tourner, mais que le chemin de fer traversera, un de ces terrains tendres ou poreux dans lesquels on évite difficilement des filtrations? On a dit que les chemins de fer en Angleterre étaient généralement courts. Il est vrai que, dans ce pays, pendant long-temps on ne s'est servi de *rail-ways* que dans le voisinage des usines pour le service de quelques uns de ces établissemens, afin de communiquer plus aisément avec la mine et le canal, la rivière ou la mer. Si aujourd'hui que, devenus voies de grande circulation, les nouveaux chemins de fer ne s'étendent pas à de très grandes distances, c'est que les villes manufacturières et commerçantes sont en Angleterre fort rapprochées les unes des autres (1). En Allemagne, au contraire, la route à ornières de Bohême, et, en France, les routes en fer de Lyon à Saint-Etienne et de Roanne à Andrezieux par-

(1) Un ingénieur qui revient d'Angleterre nous annonce que l'on s'est décidé dernièrement à établir le chemin de fer de Newcastle à Carlisle sur une très grande longueur, et plusieurs autres routes à ornières entre des points assez éloignés.

courent des lignes assez longues. Nous pourrions multiplier les argumens pour soutenir notre thèse; mais ce n'est pas ici le lieu de la discuter plus en détails.

Les partisans exclusifs des chemins de fer ont fait remarquer en faveur de ceux-ci que, pendant ces dernières années, le Parlement n'avait rendu presque aucun acte pour la création de nouveaux canaux et avait accordé de nombreuses concessions de chemins de fer. Que conclure de ce fait cependant? Rien absolument, si ce n'est que des canaux existent en Angleterre à peu près partout où il était possible et utile d'en construire, et qu'on s'est avisé, depuis quelques années seulement, d'établir des chemins de fer sur des lignes où l'on n'avait pas pu faire des canaux.

Fausse conclusion tirée du grand nombre d'actes que le Parlement anglais a accordés dernièrement pour l'établissement des nouveaux chemins de fer.

Nous ne comparerons pas ici les chemins de fer aux routes ordinaires, on voit presque de suite quels sont les mérites comparatifs de ces deux genres de voie : nous avons d'ailleurs exposé plus haut quel était l'avantage qu'offraient les chemins de fer sous le rapport du frottement, nous nous bornerons seulement à faire observer qu'en Angleterre la plupart des routes ordinaires sont faites à l'entreprise aussi bien que les routes en fer et les canaux. Ceux-ci présentent par conséquent, dans ce pays, au commerçant un plus grand avantage sur les routes ordinaires qu'en France, où les unes sont faites par le Gouvernement et les autres construites par les particuliers. En effet, en Angleterre, le transport par les chemins de fer ou canaux n'est grevé que de la différence de leur tarif avec celui de la grande route. En France, on paie en plus toute la taxe

Chemins de fer et routes ordinaires.

fixée par ce tarif, puisque, d'ailleurs, l'impôt pour l'entretien des chaussées pèse également sur celui qui s'en sert et sur celui qui ne s'en sert pas.

Observation. Nous n'avons pu donner, dans ce paragraphe, qu'une idée sommaire des mérites comparatifs des chemins de fer et des canaux. Nous nous sommes surtout appliqués à juger avec impartialité; car il est d'autant plus important, dans l'examen de pareilles questions, de se préserver de préventions mal fondées, que les moindres erreurs que l'on répand en industrie, tout en nuisant à la confiance que doit inspirer la science, conduisent les spéculateurs à leur ruine.

Perfectionnemens proposés ou récemment adoptés.

Convaincus de la haute importance que devaient acquérir les chemins de fer comme voies de communication de première classe, les ingénieurs ont conçu de nombreux projets dans le but de les améliorer.

Ils se sont surtout occupés du tracé de cette nouvelle espèce de route, de la construction des ornières, des chariots et des machines locomotives.

Tracé. Nous avons déjà parlé plus haut de l'opinion émise par quelques personnes sur les avantages que l'on trouverait à diviser la ligne du chemin en parties horizontales et en petits plans inclinés : nous ne connaissons aucune autre idée nouvelle qui ait été publiée sur le tracé des chemins de fer.

Chemin à une seule ornière. M. Palmer a proposé de n'employer qu'une seule ornière, soutenue à une certaine hauteur

au dessus du sol. Les roues des chariots, réduites alors au nombre de deux, étaient placées au milieu d'essieux parallèles et la charge distribuée aux extrémités de ces essieux de part et d'autre de la voie. On sentira aisément quels sont les avantages et les inconvéniens de cette nouvelle construction, nous ne nous arrêterons pas à les signaler. de M. Palmer.

M. Baader annonce avoir imaginé une disposition particulière des ornières, par suite de laquelle le frottement sera beaucoup diminué ; il les fait reposer sur des fondemens plus solides et plus durables, dit-il, que ceux dont on s'est servi jusqu'à ce jour. Perfectionnemens des chemins de fer par M. Baader.

M. Baader a aussi construit des chariots capables de tourner avec facilité sur des courbes du plus petit diamètre, de rouler sur les chemins ordinaires comme sur les routes en fer, et de se dégager à volonté de l'ornière pour laisser passage à ceux qui viennent dans un autre sens.

Cet ingénieur allemand a fait des expériences sur son nouveau système de routes et de chariots devant une commission composée de membres de deux sociétés savantes de Munich, qui a publié un rapport très favorable sur ces améliorations ; mais il est à regretter que M. Baader n'ait pris, ni en Angleterre ni en France, des brevets d'invention, afin que le public de ces deux pays pût apprécier ses découvertes et en jouir.

M. de Gerstner a également inventé des chariots susceptibles de se mouvoir sans difficulté dans les circuits ; son procédé ne nous est pas connu, mais il vient de prendre un brevet d'invention à Paris. Perfectionnemens des chariots par M. de Gerstner.

Deux nouveaux modes d'enrayage ont été dé-

crits dans le *Bulletin des sciences technologiques* de M. de Férussac (1), l'enrayage atmosphérique et l'enrayage hydraulique.

Voici la description de l'enrayage atmosphérique : une manivelle fixée à l'une des roues du chariot met en mouvement la tige d'un piston; celui-ci joue dans un cylindre horizontal semblable à celui d'une machine soufflante. A chacun des fonds de ce cylindre est une soupape qui s'ouvre en dedans, et qui est destinée à y laisser entrer l'air, et une autre soupape, réglée par le moyen d'un robinet, pour lui donner issue. L'air qui est dans le cylindre, résistant à l'action du piston, forme la puissance d'enrayage des roues, et on augmente cette puissance au moyen d'un robinet de retenue, qui laisse échapper plus ou moins d'air.

Le système de l'enrayage hydraulique consiste dans la substitution de l'eau à l'air et dans l'emploi d'un autre cylindre, qui entoure celui dans lequel le piston travaille et qui reçoit l'eau rejetée.

Perfectionnemens apportés aux moteurs.

Mais ce sont les moteurs surtout qui paraissent avoir attiré plus particulièrement l'attention des hommes de l'art; on vient très récemment d'y apporter de grandes améliorations; on en jugera par l'extrait suivant des journaux de Liverpool, du 15 octobre dernier.

Prix de 500 liv. st. offert par la compagnie des actionnaires du chemin de Liverpool au constructeur

La compagnie des actionnaires du chemin de Liverpool avait offert un prix de 500 liv. sterl. (12,500 fr.) au constructeur de la meilleure machine locomotive. Le concours a été ouvert à Li-

(1) *Bulletin des sciences technologiques*. Juillet 1827, page 37.

verpool, le 7 octobre 1829. Voici quelles en étaient les conditions : de la meilleure machine locomotive. Conditions du concours.

La machine ne devra pas peser plus de 6 tonnes (6090 kil., y compris l'eau de la chaudière); elle devra être en état de traîner, chaque jour, sur un chemin de niveau et en parcourant 10 milles à l'heure (16,080 mètres), un convoi de chariots d'un poids égal à trois fois le sien. La pression dans la chaudière ne dépassera pas 50 livres par pouce carré.

La machine devra être portée sur ressorts et sur six roues.

La hauteur totale de la cheminée ne devra pas excéder 15 pieds (4^{m},50).

La machine devra être fumivore.

La chaudière devra être munie de deux soupapes de sûreté, dont une hors de la portée du machiniste.

Le train d'approvisionnement, avec le combustible et l'eau placés dessus, sera considéré et pris comme partie de la charge traînée par les machines.

Lorsque la machine portera elle-même sa provision d'eau et de combustible, on déduira un poids proportionnel de la charge qu'elle devra traîner.

La longueur de la portion de chemin sur laquelle la joûte aura lieu sera de 1 $\frac{3}{4}$ mille. La machine parcourra vingt fois cette distance dans l'une et l'autre direction, ce qui fait 70 milles (112,560 mètres), ou plus de deux fois la distance de Manchester à Liverpool. Un huitième de mille, au commencement de la course, lui est accordé pour parvenir à la vitesse exigée, et un huitième de mille à l'autre extrémité pour la di-

minuer : ainsi elle devra parcourir 1 $\frac{1}{2}$ mille en 9 minutes ou faire en tout 40 $\times$ 1 $\frac{1}{2}$ = 60 milles (96,480 mètres) dans un espace de temps de six heures au plus.

Lorsque la machine aura parcouru dix fois la distance dans l'une et l'autre direction, elle prendra une nouvelle provision d'eau et de combustible, et, dès qu'elle sera prête, elle reviendra au point de départ, et recommencera le même travail pour la seconde fois.

On tiendra une note exacte du temps qu'aura employé chaque machine à parcourir chaque fois l'espace de la course et de celui qui lui aura été nécessaire pour se préparer à un nouveau trajet.

Si la machine ne pouvait pas emmener avec elle une quantité d'eau et de combustible suffisante pour les dix courses, le temps employé pour en prendre une nouvelle provision sera considéré comme partie du temps nécessaire au voyage.

Les juges étaient :

M. J.-U. Rastrick, ingénieur civil de Stourbridge ;

M. N. Wood, ingénieur civil de Killingworth, près Newcastle,

Et M. J. Kennedy, de Manchester.

Machine de M. Stephenson.

Jeudi, 8 octobre. Une machine construite par M. Stephenson ouvrit le concours ; elle pesait 4 tonnes 5 quint. (4,567 kil.) avec l'eau dans la chaudière. Ainsi, la charge qu'elle devait traîner, d'après les conditions du programme, était de 12 tonnes 15 quint. (12,942 kilog.). Elle se monta à environ 13 tonnes (13,195 kil.), y compris un petit nombre de personnes placées sur la machine ou sur les chariots. Cette machine parcou-

rut d'abord 35 milles, ou dix fois l'étendue de la lice, dans l'une et dans l'autre direction, en 3 heures 10 minutes; ce qui correspond à une vitesse moyenne dépassant 11 milles par heure (17,688 mètres). Elle employa 16 minutes à prendre de nouvelles provisions, et termina son second voyage en 2 heures 52 minutes; ce qui fait, par moyenne, environ 12 milles (19,308 mèt.) à l'heure.

La vitesse de la machine parfaitement en train était de 16 à 17 milles par heure, et si la direction du chemin avait été constamment la même, elle eût certainement atteint une moyenne de 15 milles. Dans certains momens, elle monta jusqu'à 18 milles (28946 mèt.).

Le vendredi, la joûte fut suspendue.

Le samedi, une machine construite par MM. Braithwait et Erickstone, de Londres, appelé *la Nouveauté*, devait entrer en lice. Un accident ayant exigé qu'on la réparât sur place, M. Stephenson fit fonctionner sa machine sans y attacher aucune charge, et même sans le train d'approvisionnement. Elle fit ainsi une promenade de 7 milles (11,256 mèt.) en 14 minutes, à raison de 30 milles (48,248 mèt.) par heure.

Machine de MM. Braithwait et Erickstone, dite *la Nouveauté.*

A 2 heures 59 minutes 10 secondes de l'après-midi, *la Nouveauté*, pesant 2 tonnes 13 quintaux (2,689 kil.) sans eau dans la chaudière, et 2 tonnes 17 quintaux (2,893 kil.) avec l'eau, partit en traînant la charge exigée avec une vitesse de 12 milles (19,296 mèt.) par heure, qui s'accrut au point de s'élever à 21 $\frac{1}{6}$ de mille (34,036 mèt.). Elle n'employa que 4 minutes 39 secondes pour le trajet de 1 $\frac{1}{2}$ mille (2,412 mèt.), compris entre les deux points où sa vitesse est cen-

sée uniforme, et cette vitesse fut par conséquent de 17 $\frac{1}{2}$ millles (28,140 mèt.) par heure.

Au retour, la vitesse, modérée à dessein, afin qu'elle ne variât que dans d'étroites limites, fut de 15 $\frac{1}{4}$ milles (24,522 mèt.) par heure, et la distance de 1 $\frac{1}{2}$ mille fut parcourue en 5 minutes 52 secondes.

La machine ayant mis 43 secondes pour se rendre d'un signal à un autre placé à $\frac{1}{4}$ mille plus loin, M. Price de Neath-Abbey et M. Vignolles constatèrent que, pendant ce temps, le nombre de coups de piston avait été de 142 par minute. La circonférence des roues étant de 157,4 pouces, l'espace sur lequel elle se développait, en supposant que la roue tournât constamment, était, en une minute, de 157,4 pouces $\times$ 142 = 621 yards, ou, en une heure, de 21 milles et 300 yards, et enfin, en 43 secondes, de $\frac{621 \, 43}{60}$ = 445 yards. C'est, à 5 yards près, la distance parcourue d'après l'observation. Comme on peut attribuer cette légère différence aux erreurs presque inévitables dans l'appréciation du temps, on peut dire que la vitesse de la machine étant de plus de 21 milles par heure, les roues tournèrent constamment sans jamais glisser : les rails étaient légèrement humides.

L'heure étant trop avancée, après cette expérience, pour que la joûte continuât, *la Nouveauté* traîna des chariots vides, contenant en tout 45 personnes. Elle parcourut alors deux fois la carrière avec une vitesse moyenne de 22 milles (35,376 mèt.) par heure, et atteignit même, dans un moment, celle de 32 milles (51,456 mèt.): ainsi se termina la journée.

Le dimanche et le lundi, la joûte n'eut pas lieu.

Machine de M. Hackworth, dite *la Sans-Pareille.*

Le mardi, se présenta dans l'arène une machine de M. Hackworth, dite *la Sans-Pareille.* Elle pesait 4 tonnes 8 $\frac{1}{2}$ quint. (4,491 kil.), et dut par conséquent, d'après les conditions du programme, traîner 13 tonnes 5 $\frac{1}{2}$ quint. (13,374 kil.). *La Sans-Pareille,* partie pour accomplir son voyage de 70 milles (112,500 mèt.), marcha pendant 2 heures avec une grande vitesse et régularité, et parcourut, en moyenne, 14 milles par heure avec son énorme charge. Un accident la força alors de s'arrêter.

Le mercredi fut le dernier jour de la lutte. La machine de MM. Braithwait et Erickstone rentra en lice; mais après un trajet de 7 milles, elle se dérangea et fut retirée du concours.

Nouvelles expériences avec la machine de M. Stephenson.

La machine de M. Stephenson monta plusieurs fois le plan incliné de Rainhill, en traînant une forte charge de voyageurs, à la vitesse de 12 milles par heure.

Divers constructeurs de machines, voyant qu'ils n'avaient aucune chance de succès, ont renoncé à concourir.

Prix adjugé à la machine de M. Stephenson.

Le prix de 500 liv. st. a été adjugé à M. Stephenson; mais, dit le journaliste, l'opinion publique s'est prononcée en faveur de MM. Braithwait et Erickstone. *La Nouveauté* est la première machine locomotive sortie des ateliers de ces constructeurs. Ils n'ont songé que quatre mois après l'annonce du concours à lui appliquer le principe de leur chaudière brevetée. Ce ne fut que le 1er. août qu'on la commença, et le 29 septembre, elle arriva à Liverpool par le canal, et on ne l'essaya, pour la première fois, que deux jours avant l'ouverture du concours. Un petit nombre de semaines suffira probablement pour la porter

à un point de perfection tel qu'elle l'emportera de beaucoup sur toutes celles qui ont paru jusqu'à ce jour.

Il est à regretter que les papiers de Liverpool donnent à peine quelques renseignemens sur la consommation en combustible de ces machines, et sur leur disposition. Voici cependant ce que nous y lisons :

Renseignemens divers sur la machine de M. Stephenson et sur *la Nouveauté*.

La machine de M. Stephenson ne brûle que du coke. La consommation a été de $\frac{1}{2}$ tonne pour parcourir 70 milles avec le convoi de 12 tonnes 15 quintaux ; ce qui fait 1,3 livres pour traîner à 1 mille 1 tonne, y compris le poids des chariots.

La machine de MM. Braithwait et Erikstone brûle aussi du coke. Elle emploie des soufflets ; la citerne est placée sous le fourneau, ce qui porte le centre de gravité au dessous de l'axe d'équilibre. Elle se distingue surtout par le mécanisme ingénieux qui transmet la puissance aux roues, par l'absence complète de la fumée, du bruit et des vibrations et par l'élégance de son ensemble.

Conclusions

Les expériences dont nous venons de donner une courte description semblent promettre aux chemins de fer un brillant avenir. Il paraît incontestable que les nouvelles machines locomotives, unissant la force à la légèreté et à d'autres qualités moins importantes, sont infiniment supérieures aux anciennes. Nous ne nous prononcerons cependant définitivement sur leur mérite que lorsque nous saurons quelle est exactement leur consommation en combustible et jusqu'à quel point on peut espérer de leur imprimer de grandes vitesses sans qu'elles dégradent considérablement les ornières.

Le procès des chemins de fer est aujourd'hui porté au tribunal de l'expérience : chaque jour l'intérêt qu'il excite s'accroît, et les documens qui peuvent en éclaircir les difficultés se multiplient; mais il n'est pas encore jugé. Dans quelques années seulement, un arrêt motivé sur des résultats de pratique nombreux et bien constatés pourra être prononcé.

De quelque manière, du reste, que cette question soit résolue, il est très probable que les chemins de fer ne cesseront pas d'offrir au commerce un mode de transport qui, toujours rapide, sera souvent économique, mais que les canaux n'en conserveront pas moins leur importance et leur supériorité dans un grand nombre de circonstances. Les uns et les autres seront de grandes sources de richesse pour un pays. Puisse la France, bientôt traversée dans tous les sens par ces grandes voies de communication, en devenir une preuve!

Légende des Planches IX et X.

C, *fig.* 1, Pl. X, est la chaudière; elle est cylindrique et formée de plaques de tôle jointes ensemble par des clous rivés.

A la hauteur *yy'* environ, est un petit plancher de la largeur de 8 à 9 pouces, que nous n'avons pas représenté, et sur lequel l'ouvrier machiniste est placé commodément pour arrêter ou faire marcher les soupapes.

Au dessus de ce plancher, la chaudière est recouverte de petites lattes de bois, qui empêchent une trop grande déperdition de chaleur. Ces lattes ne sont également pas indiquées dans le dessin.

P est la cheminée dans laquelle se rendent les produits de la combustion provenant des foyers qui sont dans des cylindres intérieurs à la chaudière, et la vapeur qui a servi.

T est un tuyau horizontal en cuivre rouge, par lequel la vapeur passe de la boîte à vapeur B dans la cheminée.

A est un des cylindres à vapeur; il est incliné de 45 degrés à l'horizon. Dans ce cylindre, se meut un piston dont la tige *ik* se lie, par une charnière à boule, à la bielle *k'l*; la boule est fixée à une boîte *oo'o''o'''*, qui glisse entre deux guides *mm'* et *m''m''''*. La bielle *k'l* est attachée en *l* à la roue, à laquelle elle communique le mouvement circulaire.

Les *fig.* *a*, *a'*, *a''*, *b*, *b'*, *c*, *c'* représentent les détails de jonction des bielles.

B, boîte à vapeur. Un tuyau coudé en *h* la met en communication avec la chaudière. Le cercle *h* est la projection de la partie horizontale. Le con-

duit horizontal T, déjà mentionné, la lie à la cheminée.

V et V′, roues. Les rayons sont en bois, et les jantes recouvertes d'un contour en fer malléable; à 1 pied 1 pouce du centre, est un anneau circulaire en fer, auquel est attachée la bielle *lk′*.

R et R′, ressorts. Un cadre projeté en QQ′, et auquel est attachée invariablement la chaudière par quatre colonnes en fonte, est suspendu à chacun de ces ressorts par quatre petites tiges verticales projetées en *pp′*.

ecd′e′c′d′. Système de leviers coudés pour faire marcher la tige des tiroirs, comme l'indiquent les autres figures.

Fig. 2, Pl. X. Vue de la chaudière par devant.

F et F′ sont les deux foyers avec les cendriers C et C′ au dessous.

La buse des soufflets passe dans un des foyers F′. Quand on veut diminuer le courant d'air, on retire la buse, et on ferme l'ouverture du cendrier avec une petite plaque.

A et A′ sont les cylindres à vapeur.

Dans les nouvelles machines en construction, on compte supprimer le soufflet, parce qu'il soulève constamment le train de derrière. On disposera alors les tubes pour les foyers différemment.

R, Roue d'angle dentée, enarbrée sur l'essieu avec les roues de la machine, laquelle fait tourner horizontalement une autre roue d'angle R′. La roue R′ est portée elle-même par un arbre vertical, qui fait marcher un robinet tournant. Au moyen de ce robinet, on fait agir la vapeur, par détente, pendant la moitié de la course du piston.

Nous n'avons pu voir l'intérieur de la chaudière ni obtenir à cet égard une explication suf-

fisante; mais il paraît que les deux tubes A et B, *fig.* 3, Pl. X, qui mènent la vapeur aux boîtes à vapeur, se réunissent, en C, en un tube vertical, dans lequel agit le robinet tournant.

Fig. 30, Pl. IX. Vue de la machine de l'autre côté.

A, second cylindre à vapeur, disposé comme le premier.

P, pompe foulante. Elle tire l'eau, par un tube de cuir, d'un tonneau placé derrière sur un train T, et la fait monter par un canal C dans la chaudière.

Suivant le cercle *nq* est projeté verticalement un canal horizontal se rendant dans la chaudière.

S′, soupape que l'on charge à volonté.

La tige du piston de la pompe foulante se lie invariablement, par une traverse, à celle du piston du cylindre A, comme l'indique la *fig.* 30.

Fig. 31. Projection horizontale des parties qui se trouvent au dessous de la chaudière.

R, Roue d'angle qui fait marcher le robinet tournant pour la détente.

E, Excentrique qui communique, par l'intermédiaire de l'arbre horizontal A, le mouvement au système de tiroirs de l'un des cylindres à vapeur.

E′, Excentrique qui communique, par l'intermédiaire du manchon M, le mouvement au système de tiroirs de l'autre cylindre à vapeur.

L'arbre A tourne dans son manchon M, et indépendamment de ce manchon; à celui-ci attient la tige qui communique le mouvement à l'un des systèmes de tiroirs; à l'arbre A se lie celle qui le communique à l'autre.

S, Ressorts auxquels est suspendu le cadre $cc'c''c'''$ par de petites tiges verticales, au moyen d'oreilles ou parties saillantes.

Fig. 32. Projection horizontale de quelques détails de la partie supérieure de la chaudière.

ab, Traverse horizontale communiquant le mouvement aux tiroirs situés du côté de *b*.

mm', Manchon communiquant aux tiroirs situés du côté de *a*.

On remarque en *v* et *v'* de petits boutons, qui attiennent l'un à l'arbre, l'autre au manchon *mm'*. Les tiges *rg*, *dg'*, *fig*. 1, Pl. X, portent, à leurs extrémités en *d* et *r*, des espèces d'anneaux, par lesquels l'ouvrier fait passer à volonté le bouton ou bien l'en sépare, afin de diriger ou d'arrêter les tiroirs suivant ses désirs.

S, Soupape de sûreté.

S', Deux quarts de roues dentées, auxquels l'ouvrier fait faire à volonté un quart de révolution autour de leurs centres *c* et *c'*, à l'aide d'un manche *pc'*, de manière à les amener dans la position indiquée par les lignes pointées. Dans la première position, ils permettent au robinet tournant de produire son effet en faisant agir la vapeur par détente; dans la seconde position, ils l'en empêchent, et la vapeur n'agit plus que par l'effet de son élasticité à son entrée dans le cylindre.

On fait ordinairement agir la vapeur par détente au commencement de la marche, lorsqu'il n'y en a encore qu'une petite quantité de formée, afin de la ménager, et on l'emploie sans détente lorsque l'opération est en grande activité.

Comme nous n'avons pu esquisser cette machine que lorsqu'elle travaillait, il est possible que quelques détails soient inexacts, mais on peut compter sur la parfaite exactitude des dimensions importantes.

NOTE

Sur l'affinage de la fonte au bois dans le four à réverbère et l'affinage champenois à la houille ;

Par M. COSTE.

Affinage au bois.

Les expériences sur le puddlage au bois, dont nous allons parler, ont eu lieu, en 1824, à la forge anglaise de Châtillon-sur-Seine. Les renseignemens nous ont été communiqués avec une extrême complaisance par M. Maître-Humbert, l'un des plus habiles maîtres de forge de la Côte-d'Or.

Le four à puddler qu'on employait avait des dimensions peu différentes de celles du four ordinaire. La chauffe était seulement un peu plus profonde et le flux plus étroit.

Voici les principales dimensions de ce four:

Grille. . .	Longueur.	1 mètre.
	Largeur	0,94
	Hauteur.	0,81 depuis la traverse supportant la grille jusqu'à la voûte.
Four. . . .	Longueur du pont au flux.	$1^m,94$
	Largeur au pont.	$0^m,94$
	Largeur au milieu, vis à vis la porte de travail. . . .	$1^m,24$
	Largeur au flux..	$0^m,28$
Hauteur de la voûte.	Près du pont.	$0^m,66$
	Vis à vis la porte de travail.	$0^m,61$
	Au flux.	$0^m,15$

Hauteur du seuil de la porte de travail au dessus de la sole. . . . . $0^m,15$

Hauteur du pont au dessus du seuil de la porte de travail. . . . . $0^m,13$.

La hauteur du réverbère du flux était de $0^m,04$ en contre-bas du seuil de la porte de travail.

Opération.

L'opération était conduite comme celle du puddlage à la houille ; sa durée était à peu près la même.

Charge et déchet.

La charge était de 175 kilog. de fonte fabriquée au charbon de bois ; on retirait 152 kil. 20 de fer puddlé : le déchet sur la fonte était donc de 15 pour 100 du fer obtenu.

Qualité du fer.

La qualité du fer était la même que celle du métal provenant du travail à la houille.

Consommation en combustible.

On consommait 32,87 pieds cubes de bois (*charbonnette* de toute essence) par opération, ou 216 pieds cubes (7,50 mètres cubes) pour fabriquer 1,000 kilog. de fer.

Lorsqu'on emploie du bois sec, la consommation est beaucoup moindre; elle n'a été que de $3\frac{1}{2}$ mètres cubes pour 1,000 de fer dans des expériences sur le puddlage au bois, que M. Roche a publiées dans le nº. 1 de la *Correspondance des Élèves-Mineurs de Saint-Étienne.* Cet ingénieur ne dit pas avoir eu le soin de faire dessécher le bois qu'il a employé dans ses expériences, mais nous pouvons présumer qu'il avait pris cette précaution.

Nous ferons observer d'ailleurs que l'on pouvait prévoir, par le calcul, le résultat donné par M. Roche. En effet, le pouvoir calorifique de la houille étant représenté par 80, celui du bois,

19.

lorsqu'il contient $\frac{20}{100}$ d'eau, l'est par 38,41 (1), c'est environ la moitié du pouvoir calorifique de la houille : il faudra donc, la durée de l'opération étant la même dans les deux cas, une quantité de bois pesant le double de la houille ordinairement employée : or, on consomme ordinairement 1,000 kilog. de houille pour fabriquer 1,000 kilog. de fer puddlé ; on brûlerait donc pour la même opération 2,000 kilog. de bois, ou environ 3,33 mètres cubes.

L'habileté que les ouvriers acquerraient bientôt diminuerait aussi la consommation de combustible indiquée par les expériences ; car les mêmes qui, en 1824, brûlaient 15 hectolitres de houille pour fabriquer 1,000 kilogramm. de fer puddlé, n'en brûlent pas 10 aujourd'hui. Nous admettrons donc que, dans le puddlage au bois, la consommation peut être réduite à 4 mètres cubes.

On pourrait penser que les bois durs seraient préférables aux bois blancs pour le puddlage. Il paraît que celui de toute essence conviendrait, si on avait soin de le dessécher. Le bois blanc donne même une flamme plus vive que l'autre, et présenterait plus d'avantages si on mesurait ce combustible en poids.

Malgré les avantages que ce procédé semblait offrir, on l'a cependant abandonné après trois ou quatre mois de travail.

Nous allons voir quels en sont les inconvéniens : comparons-le d'abord au procédé d'affinage à la houille.

---

(1) Voyez le résumé des leçons de M. Clément, publié dans le *Producteur*, en 1827.

Un four pouvant faire, en 6 mois, 300,000 kilog. de fer exigerait un hangar de 1,200 mètres cubes de capacité, pour abriter le combustible qui lui serait nécessaire pour ces six mois seulement. Comparaison.

Il faudrait opérer la dessiccation presque complète du bois. On pourrait y parvenir peut-être, dans certaines années de sécheresse, en exposant le bois, en plein air, aux rayons du soleil ; mais quand viendrait le moment de le rentrer, on ne se procurerait que difficilement le nombre de voituriers ou de manœuvres que ce travail exigerait. Dans les années pluvieuses, ce procédé ne pourrait plus être suivi, il faudrait alors des appareils et du combustible pour la dessiccation du bois.

On peut calculer approximativement la quantité de bois que cette opération exigerait. Admettons que le bois contienne 20 pour 100 d'eau, qu'un kilogramme de ce bois est capable de fondre $38^{k},41$ de glace, et de donner 2,881 calories (1), et que le mètre cube de bois pèse 600 kilog., la quantité d'eau contenue dans un mètre cube sera de 120 kilog., qui demanderont 78,000 calories pour être réduits en vapeur, ou 27 kilog. de bois. Supposons que la perte de chaleur par les appareils soit la moitié de la chaleur totale développée, il faudra, pour produire la dessiccation d'un mètre cube de bois, 54 kilog. de ce combustible, ou environ le douzième de celui qui est à dessécher.

On a essayé d'employer la chaleur dégagée par

(1) Voyez la note précédente.

les rampans à chauffer des étuves de dessiccation ; on n'a pas desséché, par ce moyen, plus de la cinquième partie du bois nécessaire au puddlage : la chaleur se propageant mal, la dessiccation offre beaucoup de difficultés.

De ce qui précède, il faut donc conclure que le puddlage au bois ne pourrait l'emporter sur l'affinage à la houille que dans des endroits très éloignés des mines de ce combustible et très voisins des forêts.

En pareilles circonstances, on trouverait peut-être du profit à remplacer deux feux d'affinerie au charbon de bois par un fourneau de puddlage ; on cinglerait les lopins, qui seraient ensuite chauffés dans des chaufferies ordinaires au charbon de bois.

La charbonnette serait empilée à l'air comme sur les chantiers, et chaque jour exigerait une étuve qui pût dessécher 12 à 15 mètres cubes de bois par jour.

En effet, nous avons dit que la consommation de bois pour produire 1,000 kilog. de fer puddlé pouvait se réduire à 4 mètres cubes. On calcule que le charbon brûlé dans un four d'affinerie pour fabriquer la même quantité de métal est de 8 à 9 mètres cubes, et provient de la carbonisation de 26 à 27 mètres cubes de bois. A la vérité, le fer puddlé doit encore être chauffé et laminé une fois ; mais cette opération exigeant moins de combustible, quoiqu'une chaleur plus vive que le puddlage, le puddlage au bois offrirait, en tous cas, au moins un tiers d'économie sur le combustible, même en y ajoutant le bois nécessaire à la dessiccation.

On observera, toutefois, que le puddlage au

bois ne pourrait être appliqué que dans de petits établissemens, et seulement être substitué à nos anciennes forges.

Affinage champenois à la houille.

Un procédé suivi dans quelques usines de la Haute-Marne et de la Côte-d'Or consiste à puddler le fer à la manière ordinaire, à cingler les loupes sous un marteau à drôme de 550 kilog. environ, à rechauffer les lopins au milieu de la houille et à les forger sous un marteau semblable.

Cette dernière opération se fait dans un petit foyer de 18 pouces de côté, peu différent d'une chaufferie au charbon de bois, et exigeant à peu près la même quantité de vent. Ce foyer est fermé de trois côtés et couvert d'une petite voûte; la cheminée est placée sur le côté, et on pratique entre elle et le foyer un petit compartiment voûté, dans lequel passe la flamme et où l'on commence à rechauffer les lopins qui doivent être travaillés dans l'opération suivante.

On fabrique, dans une chaufferie de ce genre 12,000 kilog. de fer en barres par semaine, en sorte qu'une seule suffit à un four de puddlage.

On consomme 12,000 kilog. de houille et 14,400 kilog. de lopins.

L'avantage que ce procédé présente est de n'exiger que très peu de frais d'établissement; mais il paraît que jusqu'à présent il n'a donné qu'un fer de qualité médiocre.

Il vaudrait mieux rechauffer le métal hors du contact de la houille. En effet, pour peu qu'elle soit pyriteuse, et c'est le cas le plus ordinaire, on doit obtenir un fer cassant à chaud. Ne serait-il

pas plus avantageux de cingler les lopins en plaques un peu minces et de les rechauffer avec le coke dans un four semblable à celui que nous avons décrit dans les *Annales des Mines*, 1re. livraison de 1829? A la vérité, on consommerait plus de combustible, mais la qualité serait bien meilleure.

NOTE

Sur les usines à or, argent et plomb de Transylvanie ;

Par M. Charles KERSTEN, Officier des mines de Freyberg.

Ayant visité, pendant les années 1827 et 1828, les usines les plus importantes de l'empire d'Autriche, et m'étant assuré que, dans ces derniers temps, on n'avait rien publié sur l'exploitation des métaux en Transylvanie, j'ai pensé que cette notice ne serait pas tout à fait sans intérêt.

Tous les renseignemens m'ont été fournis par la direction même des usines de *Zalathna*, pendant mon séjour dans cette ville.

Je ne ferai ici qu'une courte énumération de la quantité des métaux qu'on exploite dans les usines de Transylvanie; et comme je me propose de publier un voyage métallurgique en Autriche, en Hongrie, en Transylvanie et dans le Tyrol, je ne dirai que quelques mots sur les procédés.

Il y a dans la principauté de Transylvanie trois usines pour le traitement des minérais d'or et d'argent, savoir : *Zalathna, Csertest* et *Offen-Banya.*

Elles appartiennent toutes au Gouvernement autrichien. Les mines sont la propriété d'entrepreneurs particuliers. Ceux-ci sont obligés de livrer le produit de leurs mines aux usines. Le Gouvernement paie ces produits suivant un prix convenu, réglé sur la quantité d'or et d'argent contenue dans le minérai. Sur ce prix le Gou-

vernement se réserve 5 pour 100 de la quantité d'or et d'argent contenue dans le minérai, estimé d'après l'essai, pour couvrir les pertes qui peuvent résulter dans le traitement. Il garde en outre, pour s'indemniser des frais du traitement métallurgique, un tant pour cent du prix stipulé pour le minérai ainsi réduit.

L'usine de Zalathna est située près de la petite ville du même nom et distante de huit lieues de la forteresse de *Charlesbourg*. C'est dans cette ville que se tient le conseil des mines et des usines de Transylvanie dépendant du *Thésauriat* d'*Hermanstadt*.

On coupelle dans cette usine tout le plomb d'œuvre que les trois usines produisent.

Outre les trois usines susmentionnées, il y a encore une usine à plomb à *Rodnau*, où l'on ne fond que des minérais de plomb contenant très peu d'argent.

Gisement des minérais.

Les minérais qu'on fond dans ces trois usines sont exploités aux environs de *Zalathna*, *Fazebay*, *Offen-Banya*, *Voeroes-Patak*, *Koeroes-Banya*, *Abrud-Banya* et *Nagy-Ag*. Ils se trouvent en filons dans le Grünstein porphyrique ou dans la grauwacke de la formation intermédiaire de cette contrée, et donnent lieu à trente ou quarante exploitations. Les filons sont nombreux, mais très irréguliers, et courent dans toutes les directions. Les travaux exécutés fréquemment, même par les propriétaires des mines, sont souvent irréguliers et mal dirigés.

Variétés minéralogiques des minérais.

Les minérais qu'on exploite sont, pour la plupart, des pyrites de fer et des galènes plus ou moins aurifères et argentifères. On trouve aussi

de l'argent sulfuré, des pyrites de cuivre, de la blende, du réalgar, et du sulfure d'antimoine.

Quelquefois l'or se présente en lamelles visibles. Dans ce cas, il n'est pas l'objet d'un traitement métallurgique, mais il se vend aussitôt au bureau impérial de l'achat de l'or provenant du lavage (*einlosungsamt*) *à Zalathna*.

La richesse moyenne du quintal de minérais fournis aux usines est ordinairement d'un loth d'argent aurifère, qui contient par marc (1) 3 loths 3 quentchen $\frac{1}{2}$ dennairs d'or fin.

Les minérais les plus riches en or sont les minérais de *tellure*, savoir :

I. Le tellure natif auro-argentifère des mines d'*Offen-Banya*, qui est accompagné de carbonate de chaux, de quartz, de fer sulfuré, de zinc sulfuré, de cuivre gris.

II. Le tellure natif auro-plombifère de *Nagy-Ag*. Il est accompagné de carbonate de manganèse rose, de fer sulfuré et de cuivre gris aurifère, etc., etc.

Le procédé pour fondre ces minérais a une grande analogie avec celui qu'on emploie dans la Basse-Hongrie, dans les usines de *Schernowitz*, près de *Schemnitz*, de *Kremnitz* et de *Neusohl*, et est à peu près semblable à celui de Freyberg, qui a été très bien décrit par M. Perdonnet dans les *Annales des Mines*, 2e. série, 5e. livraison, 1827.

Voici quelles sont les opérations :

---

(1) Le marc dont il est ici question est la demi-livre ou le marc de Vienne. Il se subdivise en 16 loths, le loth en 4 quentchen, et le quentchen en 4 dennairs ou pfennings. Le quintal a 100 livres; la livre de Vienne =0k,5604842, d'après Martin. K.

Division des opérations métallurgiques.

I) La fonte crue ou de concentration (*roharbeit*).

II) La fonte d'enrichissement (*anreicharbeit*).

III) La fonte de plomb (*frischarbeit* ou *verbleyung*).

qui se subdivise en { A) fonte de plomb riche, B) fonte de plomb pauvre.

IV) La coupellation.

Ces fontes se font au charbon de bois.

A. *Usine de Zalathna.*

Classement des minérais par rapport au traitement métallurgique.

Tous les minérais que l'on réduit dans l'arrondissement des mines de *Zalathna* sont partagés, par rapport au traitement métallurgique dans cette usine, en quatre classes :

Ire. classe. Elle comprend les minérais les plus pauvres jusqu'à ceux qui contiennent o loth 2 quentchen 3 dennairs d'argent aurifère.

IIe. classe. On y range ceux dont la richesse est de 3 quentchen à 1 loth 3 quentchen 3 dennairs.

IIIe. classe. Ceux de 2 loths à 5 loths 3 quentchen 3 dennairs.

IVe. classe. Ceux de 6 loths jusqu'au maximum de richesse.

Les minérais purs de tellure d'*Offen-Banya*, qui contiennent plus de 300 onces d'argent aurifère par quintal, ne sont pas fondus, mais immédiatement soumis à la coupellation.

B. *Usine de Csertest.*

Classement des minérais par rapport au traitement métallurgique.

Tous les minérais sont ici partagés en six classes :

Ire. classe. Ceux qui contiennent 3 quentchen 3 dennairs au moins d'argent aurifère, lorsque cet alliage est au dessous du quart (1).

(1) Par cette expression *alliage au dessus ou au dessous*

IIe. classe. Tous les minérais de la même richesse, mais dans lesquels l'alliage est au dessus du quart.

IIIe. classe. Ceux qui contiennent de 1 loth à 3 loths, soit au dessous, soit au dessus du quart.

IVe. classe. Des minérais de *Nagy-Ag*, qui ne donnent pas de mattes.

V^e^. classe. Minérais et schlichs de plomb.

VIe. classe. Pyrites cuivreuses qui ne contiennent ni or ni argent.

C. *Usine d'Offen-Banya.*

On divise ici les minérais en quatre classes:

Classement des minérais par rapport au traitement métallurgique.

Ire. classe. Les minérais pauvres contenant trois quentch. 3 dennairs et au dessous, dans lesquels l'alliage d'or et d'argent est au dessous du quart et ceux de 3 dennairs et au dessous, où l'alliage est au dessus du quart.

IIe. classe. Les minérais d'un quentch. à 2½ loths, où l'alliage est au dessus du quart et d'un loth à 2 ½ loths, où l'alliage est au dessous du quart.

IIIe. classe. De 2 ½ loths jusqu'au maximum de richesse.

IVe. classe. Minérais et schlichs de plomb.

Usine de Zalathna.

A) ***Fonte crue ou de concentration*** (***roharbeit***).

Traitement des minérais dans les diverses fonderies.

Fonte crue ou de concentration.

Les minérais traités par la fonte crue sont ceux de la première classe, qui contiennent 2 quentch. 3 dennairs ou au dessous d'argent aurifère, savoir: les minérais pauvres et les pyrites aurifères.

---

du quart, on entend un alliage d'or et d'argent contenant plus ou moins de 25 pour 100 d'or, proportion déterminée par essai par la voie humide, qu'on fait dans toutes ces usines pour tous les minérais qu'on y traite. K.

On y ajoute des scories de la fonte de plomb pour en tirer parti comme fondans et pour en extraire les métaux qui y sont renfermés ; on compose le lit de fusion de manière que les mattes que l'on obtient contiennent 1 loth d'argent aurifère. Les scories sont rejetées.

Les fourneaux employés pour la fonte crue sont aujourd'hui des hauts-fourneaux à deux tuyères ; autrefois on employait des demi-hauts-fourneaux.

Les hauts-fourneaux se trouvent dans une nouvelle usine que l'on a bâtie depuis quelques années, et qui se distingue autant par le luxe de construction que par la disposition bien entendue de toutes ses parties.

Forme et dimensions des hauts-fourneaux.

Ces hauts-fourneaux ont 20 pieds (1) de hauteur.

Profondeur ou longueur.	Pieds	pouces.
1°. Sur la sole.	3	8
2°. A la hauteur des tuyères. .	3	6
3°. Au gueulard	2	11
Largeur.		
1°. Sur la sole contre le mur de devant.	1	10
Id. contre le mur des tuyères. .	2	6
2°. A la hauteur des tuyères contre le mur de devant	1	10
Id. contre le mur des tuyères.	3	6
3°. Au gueulard contre le mur de devant	2	2
Id. contre le mur des tuyères .	2	3

(1) Le pied dont il est ici question est le pied de Vienne $=0^{m},3885$; il se subdivise en 12 pouces. K.

Les creusets sont en brasque (1), et construits sur une sole d'argile; le fond du creuset a une inclinaison de 2 à 3 pouces sur l'avant du fourneau. La profondeur du bassin est de 2 pieds 4 pouces.

Les tuyères en fonte sont inclinées de 3 à 5 degrés. La hauteur au dessus de la pierre de devant (*trittstein*) est de 2 pieds 2 pouces; elles s'avancent de 2 pouces. Disposition des tuyères.

Les soufflets de ces hauts-fourneaux sont des soufflets à piston très bien construits. Soufflets.

B) *Fonte d'enrichissement* (*anreicharbeit*).

On traite dans la fonte d'enrichissement les minérais de la deuxième classe contenant 3 quentchen à 1 loth 3 quentchen 3 dennairs d'argent aurifère et les mattes grillées de la fonte crue. La fusion a lieu dans des fourneaux à manche, dont la hauteur est de 6 pieds, la largeur de 2 pieds 6 pouces, ainsi que la profondeur ou longueur. Fonte d'enrichissement (*anreicharbeit*). Minérais traités dans cette opération.

Le creuset du fourneau est en brasque, les fourneaux n'ont qu'une tuyère, dont la hauteur au dessus de la sole en pierre (*trittstein*) est de 18 pouces, et laquelle est inclinée de 2 degrés.

La profondeur du bassin, comptée de l'œil du fourneau, est de 9 à 12 pouces. Les fourneaux ont deux trous de coulée.

C) *Fonte de plomb* (*frischarbeit*).

On traite dans cette fonte tous les minérais de Fonte de plomb (*frischarbeit*).

---

(1) Cette brasque se compose de deux parties d'argile et d'une de charbon pulvérisé.

la troisième et de la quatrième classe, les mattes grillées, obtenues par les opérations décrites, et d'autres produits et matières plombifères.

D'après la richesse en plomb et en argent que l'on donne au mélange, on distingue

1°. Fonte de plomb pauvre.
2°. Fonte de plomb riche.

α) *Une fonte de plomb pauvre*,

β) *Une fonte de plomb riche.*

Grillage des schlichs de plomb.

On grille les schlichs de plomb dans des fours à réverbère, qui sont de la même construction que ceux de la Basse-Hongrie.

Fourneaux pour la fonte.
Inclinaison du vent.

Les fourneaux dont on se sert pour ces travaux sont des fourneaux à manche de la même construction que pour la fonte d'enrichissement; mais on donne aux tuyères une plus grande inclinaison. Elle est de 3 degrés dans la fonte d'enrichissement pauvre, et de 5 degrés dans la fonte riche.

Produits obtenus dans ce travail.

On produit du plomb d'œuvre et des mattes de plomb, qui sont réunies aux fontes précédentes après avoir été grillées.

Coupellation du plomb d'œuvre.

D) *La coupellation* du plomb d'œuvre a lieu dans des fourneaux ordinaires, dont la coupelle est faite avec de la marne que l'on trouve dans le voisinage. On coupelle ici, comme nous l'avons déjà dit, tout le plomb d'œuvre que l'on a produit dans les usines de Csertest et d'Offen-Banya.

Usine de Csertest.

Fonte crue (*roharbeit*).
Minérais traités dans cette opération.

I) La fonte crue (*roharbeit*) a lieu sur des minérais de la première classe, contenant 3 quentchen 3 dennairs et au dessous d'argent aurifère, qui est au dessous du quart. On y ajoute aussi des pyrites de cuivre contenant 2 à $14\frac{3}{4}$ livres de cuivre par quintal.

La fonte s'opère, non pas comme à Zalathna, dans des hauts-fourneaux, mais dans des demi-hauts-fourneaux; leur hauteur est de 13 pieds et la profondeur du bassin de réception est de 10 pouces, à partir de l'œil. Forme et dimensions du fourneau.

La tuyère se trouve de 18 pouces au dessus de la pierre fermant à la partie inférieure le devant du fourneau; elle est inclinée de 2 degrés.

II) La fonte d'enrichissement (*anreicharbeit*) se partage ici en deux sortes, savoir : Fonte d'enrichissement (*anreicharbeit*).

α) La fonte d'enrichissement pauvre (*arme-anreicharbeit*).

β) La fonte d'enrichissement riche (*reiche anreicharbeit*).

La première a lieu sur les minérais de la deuxième classe, qui contiennent 3 quent. 3 denairs et au dessous, mais dans lesquels l'argent aurifère est au dessus du quart; on y ajoute des mattes de la fonte crue après les avoir grillées en tas, et des scories de la fonte de plomb. Fonte d'enrichissement pauvre.

La deuxième s'opère sur les minérais de la troisième classe, qui contiennent d'un à 3 loths d'argent aurifère, soit au dessous, soit au dessus du quart. On ajoute aux deux fontes quelques parties des minérais pauvres de *Nagy-Ag*, qui ne donnent que peu de mattes. Fonte d'enrichissement riche.

III) *Dans la fonte de plomb*, on traite les minérais et schlichs de plomb et les mattes des fontes précédentes. Les fourneaux ont 13 pieds de hauteur, la profondeur du bassin de réception est de 8 pouces; la tuyère se trouve de 16 pouces au dessus de la pierre de devant et a une inclinaison de 5 degrés. Fonte de plomb.

Le plomb d'œuvre riche est envoyé à l'usine de Zalathna pour la coupellation.

Fonte en cuivre noir (*schwartz kupferarbeit*)

IV) On y fait aussi une fonte de cuivre noir. Le lit de fusion est composé de mattes cuivreuses grillées et de mattes minces grillées, qui proviennent du même travail et des minérais contenant du cuivre jusqu'au maximum de richesse. La fonte s'opère dans de bas-fourneaux.

Usine d'Offen-Banya.

Fonte crue (*roharbeit*).

I) La fonte crue (*roharbeit*) a lieu sur les minérais de 3 quent. 3 dennairs et moins d'argent au dessous du quart, et en même temps aussi sur les minérais qui ne contiennent que 3 dennairs par quintal, mais où l'argent aurifère est au dessus du quart.

Fonte d'enrichissement (*anreicharbeit*).

II) La fonte d'enrichissement (*anreicharbeit*) se fait sur les minérais d'un quentch. à 2 $\frac{1}{2}$ loths par quintal, où l'alliage est au dessus du quart, et sur ceux d'un loth à 2 $\frac{1}{2}$ loths d'argent aurifère, qui est au dessous du quart.

Fonte de plomb (*frischarbeit*).

III) La fonte de plomb s'applique aux minérais riches qui contiennent au moins 2 $\frac{1}{2}$ loths, aux minérais et schlichs de plomb et aux mattes de la fonte d'enrichissement.

Les minérais de plomb sont, comme dans les autres usines, grillés dans des fourneaux à réverbère.

Forme et dimensions des fourneaux.

On y emploie des fourneaux d'une hauteur de 17 pieds, à deux tuyères, recevant le vent de trois soufflets à piston.

Le creuset du fourneau a une profondeur de 2 pieds, et il est brasqué ainsi que ceux des fourneaux dont nous avons parlé. Dans la fonte

crue et la fonte d'enrichissement, les tuyères se trouvent à deux pieds au dessus de la pierre de devant (*trittstein*); elles ont une inclinaison de 2 à 3 degrés.

Dans la fonte de plomb, la hauteur des tuyères au dessus de la plaque de devant est d'un pied 4 pouces; mais leur inclinaison est de 5 degrés.

Voici le tableau des minérais d'or, d'argent et de plomb que l'on a livrés, dans l'année 1826, aux usines de Transylvanie :

TABLEAU de la quantité de minérai livrée aux usines de Transylvanie , *dans l'année* 1826.

NOMS des USINES.	QUANTITÉ livrée à chaque usine.		CONTENANCE											
			EN ARGENT AURIFÈRE.				EN OR FIN.				EN PLOMB.		EN CUIVRE.	
	Quintaux de Vienne.	Livres.	Marcs.	Loths.	Quent-chen.	Den-nairs.	Marcs.	Loths.	Quent-chen.	Den-nairs.	Quin-taux.	Livres.	Quin-taux.	Livres.
Zalathna....	15525	45	2176	1	3	3	607	4	3	3	145	45½	103	99¾
Csertest.....	15022	54	1011	5	2	2	194	1	1	2	146	93	91	40
Offen-Banya.	19874	64	781	9	1	2	146	2	2	1	706	74	»	»
TOTAL..	50422	63	3969	»	3	3	947	8	3	2	999	12½	195	39¾
Us. à plomb de Rodnau.	2517	82	295	»	1	2	1	2	1	1	1335	83	»	»

Sur la richesse des minérais en or et en argent.

La moyenne de la richesse d'un quintal de minérais livrés aux trois usines d'argent est d'un loth d'argent aurifère, et celle d'un marc de cet argent aurifère, de 3 loths 3 quent. $\frac{1}{2}$ den. d'or.

Production des mines de Transylvanie dans l'année 1826.

Dans la même année, on a produit :

3687 marcs d'argent aurifère, contenant

798 marcs d'or fin,

qu'on a livrés à l'hôtel des monnaies impériales de Charlesbourg, où l'on fait la séparation de l'or et de l'argent par l'acide nitrique.

Perte en plomb.

Dans la même année (1826), la perte en plomb dans les trois usines de Transylvanie, pour toutes les opérations, a été, en totalité, 1580 q^x., 24 liv. Il suit de là, et de la quantité d'argent aurifère qu'on a obtenue, savoir : 3687 marcs, que la perte de plomb est, pour un marc d'argent coupellé, 43 livres.

Production des usines dans un intervalle de six années trois quarts.

Dans un intervalle de six années trois quarts, avant 1826, on a envoyé à l'hôtel des monnaies de Charlesbourg :

19763 marcs d'argent aurifère, contenant, d'après la supposition qu'un marc d'argent aurifère contient 3 loths 3 quent. $\frac{1}{2}$ den. or fin, 4676 marcs 0 loth 3 quent. 1 $\frac{1}{2}$ den. or fin, et 15086 marcs 15 loths 0 quent. 2 $\frac{1}{2}$ den. argent.

Perte moyenne en plomb.

La perte moyenne en plomb a été, pour 1 marc d'argent coupellé, 38 $\frac{4}{5}$ livres.

Cette perte est calculée d'après les résultats portés sur les registres ; mais l'on se rappelle qu'ils ne correspondent pas exactement au contenu des minérais indiqué par les essais chimiques.

D'après ces résultats, la moyenne production de l'or et de l'argent par le traitement métallurgique était, par an, de 693 marcs or fin et de

2235 marcs argent fin. On voit que cette quantité, exploitée avant 1826, est moindre que celle de l'année 1826 : cela vient de ce que l'on a été obligé pendant ces années de démolir l'ancienne usine à Zalathna, et que l'on n'a pas pu fondre jusqu'à ce que la nouvelle usine fût bâtie. L'emploi des hauts-fourneaux dans la nouvelle usine est aussi un motif de plus grande production pendant 1826.

Les résultats que nous avons indiqués dans cette note donnent toute la quantité d'argent produite en Transylvanie ; mais ils ne donnent que la quantité d'or obtenue par le traitement métallurgique. Pour avoir complétement la production de l'or, il faut ajouter à celle-ci la quantité notable, qui est achetée par le bureau de l'achat de l'or à Zalathna; ce bureau achète, comme nous l'avons dit, l'or provenant du lavage exécuté par les Bohémiens et les Wallaques, et l'or natif qui se trouve quelquefois en lamelles dans les mines.

RÉSULTATS

De divers essais entrepris dans le but de perfectionner les procédés métallurgiques employés en Saxe.

(Extrait de l'*Annuaire pour* 1829, publié par l'Académie des mines de Freyberg.)

Amalgamation des minérais d'argent à Freyberg.

Dès l'année 1825, la quantité de minérai grillée dans une opération fut portée de 3 $\frac{3}{4}$ quintaux à 4 $\frac{1}{2}$, sans accroître la durée du grillage : il en résulta une économie annuelle de 2,000 thlr. sur le combustible seulement. La perte sur le mercure, dans l'amalgamation ultérieure, ne fut point augmentée et celle sur l'argent parut insignifiante; car la différence sur le produit de toute une année ne fut, en moins, que d'une valeur de 351 thlr., somme bien couverte par celle indiquée précédemment. Augmentation de la charge du fourneau de grillage.

D'autres essais ont montré qu'il n'y avait plus d'avantage à porter la charge jusqu'à 5 quintaux, parce que les résidus d'amalgamation étaient alors plus riches qu'auparavant et que la perte sur le mercure devenait plus grande.

On prit, pour cet essai, un mélange de minérais tenant 7 $\frac{1}{2}$ loths d'argent au quintal, aussi dépourvu que possible de pyrites, et qui contenait du quartz et de la baryte sulfatée; la quantité de mattes qu'il rendait ne s'élevait qu'à 10 livres au quintal. On le mêla avec 6 pour 100 de son poids de menu charbon, et on le soumit au Grillage des minérais d'amalgamation sans addition de sel marin.

grillage comme à l'ordinaire; on y ajouta encore un peu de ce combustible pendant l'opération. Ce minérai perdit 11 pour 100 par le grillage, et contenait alors 8 loths d'argent et 3 livr. de mattes au quintal; il fut livré à la préparation mécanique et soumis à l'amalgamation.

Mais quoiqu'on eût aidé l'action du mercure par une élévation de température de 68° R., après 22 heures de travail les résidus retenaient encore $4\frac{1}{2}$ loths au quintal.

L'addition d'une plus forte proportion de charbon n'a point amélioré le résultat.

Essais d'amalgamation à chaud.

Des essais faits, en 1827, sur l'amalgamation opérée avec le concours d'une certaine élévation de température, ont montré qu'au bout de 10 heures les résidus ne retenaient plus que $\frac{1}{4}$ loth d'argent au quintal; mais on ne dut pas continuer ces recherches, parce que la perte en mercure fut telle, qu'elle s'éleva jusqu'à 4 et même 7 livres pour 10 quintaux de minérai, tandis que dans l'amalgamation à froid elle ne surpasse jamais $\frac{1}{2}$ ou $\frac{3}{4}$ de livre.

Pulvérisation des minérais pendant l'amalgamation.

Les dépenses occasionées par la pulvérisation (mouture), actuellement pratiquée sur les minérais qui doivent être soumis à l'amalgamation, et qui se montent annuellement à 3,600 thlr. environ, ont fait désirer de trouver quelque moyen moins coûteux de remplacer cette préparation. On a imaginé dernièrement (et l'on est fondé à espérer le succès de ce procédé) que du minérai grillé comme à l'ordinaire et passé au tamis, mais sans avoir été préalablement écrasé sous les meules, étant mis dans des tonneaux en fer avec le mélange ordinaire de mercure et d'eau, et en outre avec des boules en fer, sera réduit en par-

ties très fines par l'effet du mouvement du tonneau, de manière à suppléer à la mouture et sans que les résidus retiennent plus d'argent qu'ils n'en contiennent maintenant. Des essais en grand vont être entrepris suivant ces indications, et nous en ferons connaître le résultat.

Purification de l'argent d'amalgamation.

Jusqu'à l'année 1825, l'argent impur provenant de l'amalgamation a été vendu aux fonderies, qui en opéraient la purification en le mêlant avec du plomb d'œuvre et affinant ensuite au fourneau de coupelle ; mais ces usines avaient des motifs pour se plaindre de cet arrangement, parce que l'addition au plomb d'œuvre d'un alliage contenant presque autant de cuivre que d'argent augmentait considérablement la perte sur ce dernier métal ; enfin il y avait cet autre inconvénient de terminer les opérations d'un procédé dans une usine différente de celle où elles avaient été commencées, ce qui m'empêchait toujours d'en connaître exactement les résultats. On chercha donc un moyen d'amener, par un procédé praticable dans l'usine d'amalgamation, l'argent au titre auquel il est reçu à l'hôtel des monnaies. Voici, en peu de mots, les divers moyens qui ont été essayés.

a) *Raffinage du métal d'amalgamation*, soit à la houille, dans un fourneau à réverbère, soit sous une moufle, avec du bois et du charbon de bois : aucune de ces deux méthodes ne put être conservée, à cause de la consommation notable du combustible et de la perte éprouvée sur le plomb employé et sur l'argent contenu dans l'alliage.

b) *Séparation de l'argent par l'acide sulfurique.* L'alliage, fortement rougi au feu, était mis à digérer, au milieu de l'acide sulfurique étendu

d'eau, dans une chaudière de plomb; la plus grande partie du cuivre, ainsi que des métaux étrangers, était dissoute et l'argent restait à l'état métallique; on fondait ensuite ce dernier avec de la litharge, dans un creuset de Hesse, et il était amené à 15 loths ou 15 loths 2 $\frac{1}{2}$ quentch. d'argent pur par marc.

La dissolution donnait, par cristallisation, de très beau sulfate de cuivre.

Ce procédé a été employé depuis l'année 1825 jusqu'en 1827; mais le raffinage de l'argent ainsi obtenu, ne pouvant pas encore s'opérer comme on l'avait espéré, cette circonstance fit disparaître tout l'avantage qu'on s'était proposé de retirer d'un procédé d'ailleurs simple et exact, et l'on dut en chercher un autre.

c) *Affinage de l'alliage préalablement fondu avec du plomb marchand et raffinage de l'argent de coupelle, le tout exécuté au compte de l'usine d'amalgamation.*

Ce procédé, qui donnait du moins des produits plus avantageux que le précédent sous le rapport économique, fut employé pendant plusieurs trimestres de l'année 1827 : la perte sur l'argent était notablement moindre avec ce plomb qu'avec le plomb d'œuvre; mais il présentait ces inconvéniens, que l'on était obligé de faire quelques opérations préparatoires pour étendre l'argent dans une assez grande masse de plomb, et, enfin, de lier encore l'atelier d'amalgamation aux fonderies de plomb.

d) *Fontes réitérées du métal d'amalgamation* (1).

---

(1) M. Kersten de Freyberg donnera, dans une des prochaines livraisons de ces *Annales,* une description détaillée de cette opération. Cette méthode de purification de l'ar-

Pendant qu'on était encore dans l'incertitude sur la préférence à donner au procédé de la séparation de l'argent par l'acide sulfurique, ou bien à l'affinage au moyen du plomb pauvre, on imagina un autre mode de traitement qui l'emporte sur les deux autres en simplicité et en convenance. Par des fusions réitérées de l'alliage préalablement rougi, on parvient à le purifier au point qu'il n'est plus composé que d'argent, de cuivre et d'une quantité à peine pondérable d'antimoine; il peut alors être employé à la fabrication des monnaies et livré avec avantage à l'établissement qui en est chargé. Des essais faits en grand ont donné les résultats suivans : 220 marcs d'alliage brut, fondus trois fois, se sont réduits à 199 marcs 12 loths du composé argent et cuivre, où le premier de ces métaux se trouvait pour 141 marcs 9 loths 3 quent. 2 pf.; la perte sur l'argent ne fut pas de plus de 2 loths 2 pf., et les frais de l'opération ne s'élevèrent qu'à 10 pf. par marc d'argent fin. Il fut ainsi prouvé que ce procédé serait avantageux et convenable, lors même que la perte sur l'argent et les dépenses qu'il occasionera se trouveraient plus considérables qu'on ne l'a supposé; en outre, le cuivre de l'alliage conserve toute sa valeur et son utilité.

Essais faits pour séparer l'or des divers minérais du district de Freyberg.

Dans le courant de l'année de 1825, on a essayé de retirer l'or contenu dans divers minérais

---

gent d'amalgamation a eu lieu jusqu'à présent avec de grands avantages à Freyberg; elle est aussi appliquée, depuis trois années, dans les usines d'amalgamation d'*Arany-Idka*, dans la Haute-Hongrie.

des environs de Freyberg, en les fondant pour obtenir une matte, qui fut traitée par la litharge après avoir été soumise à un grillage préliminaire ; le plomb d'œuvre obtenu fut passé à la coupelle et l'argent dépouillé de l'or contenu par le procédé dit *durch guss und fluss*, et la quartation.

En 1826, la dernière expérience produisit 213 marcs 6 loths d'argent de coupelle, contenant en or 6 loths 2 quint. 2 pf. 0,48 de grain ; c'était 0,5742 grain d'or par marc d'argent fin : ce résultat fut trouvé si avantageux, qu'on a conçu l'espoir d'introduire le traitement pour l'or dans la série ordinaire des opérations ; en effet, la séparation de ce métal a été complète et la perte sur l'argent ne s'est élevée, en tout, qu'à 8 loths 1 pf., c'est à dire à 0,24 pour 100 : en établissant le compte des frais de ce traitement, y compris la valeur de l'argent qui disparaît dans l'ensemble des opérations, on trouve un bénéfice de 2 thlr. 5 gr. 8 $\frac{7}{10}$ pf. par loth d'or obtenu, en évaluant chaque loth à 12 thalers.

Diminution dans la quantité de pyrite de fer ajoutée aux minérais d'argent que l'on traite en fonte crue (1).

Fonte de mattes avec de la litharge.

Depuis l'année 1825, on pratique, à Freyberg, un procédé de fonte nommé *glaettrohsteinarbeit*, qui consiste à fondre, dans une sorte de fourneau

(1) Voir, pour les détails des essais et leurs résultats, le Mémoire de M. Perdonnet, inséré dans les *Annales des Mines*, t. II, p. 317 de la nouvelle série.

pour le plomb (fourneau prismatique), de la matte grillée, avec 20 ou 25 p. 100 de litharge et addition de beaucoup de scories plombeuses, afin d'en séparer l'argent : on obtient du plomb d'œuvre tenant de 15 à 17 loths, et une matte qui contient, au q^{al}., de 8 à 12 liv. de plomb et de 9 à 18 liv. de cuivre. Les scories qui proviennent de cette fonte ne renferment souvent que $\frac{1}{16}$ loth d'argent, mais quelquefois aussi $\frac{1}{4}$ loth ; celles-ci sont traitées de nouveau. Cette fonte, en raison d'une grande quantité d'oxide de fer qui se trouve dans le fourneau, donne lieu à la production abondante des loups, débris de fourneau, etc.; ce qui fait voir l'avantage qui résulte de l'addition qu'on a occasion de faire de scories (1) contenant 50 pour 100 de silice et un peu d'acide fluorique.

Au reste, on ne doit employer ce procédé que dans le cas où les mattes argentifères se sont accumulées à ce point que les fontes au plomb, qui se font couramment, ne peuvent pas suffire à leur traitement; car ce dernier est toujours plus avantageux que l'autre, qui demande plus de temps,

---

(1) Les scories dont il est ici question sont les scories des anciens travaux métallurgiques de l'usine de la Halsbrücke; aussi les appelle-t-on anciennes scories de la Halsbrücke: elles proviennent de la fonte crue de minérai, dont la gangue contenait beaucoup de fluate de chaux.

Mais comme cette gangue est à présent très rare dans les minérais livrés aux usines de Freyberg, et qu'elle est composée en grande partie de sulfate de baryte et de quartz, l'on se sert souvent de ces mêmes scories comme moyen de fusion, et on s'en sert constamment, dans le commencement de la fonte crue, pour former le nez.

KERSTEN.

(692 mètres cubes), mise en feu par un temps fort beau, a produit 94,87 pour 100 de charbon, menu compris.

Ces essais seront continués.

Les résultats moyens de la carbonisation des bois de pin, à Goersdorf, ont été ainsi qu'il suit dans les sept dernières années :

ANNÉES.	Produit total en charbon pour 100 volumes.	Produit en charbon gros et moyen.	Produit en menu et poussière.
1821.	78, 85	74, 94	3, 91
1822.	81, 00	76, 24	4, 76
1823.	81, 69	76, 44	5, 25
1824.	82, 04	77, 95	4, 09
1825.	90, 66	86, 31	4, 35
1826.	89, 93	86, 31	3, 62
1827.	91, 73	87, 53	4, 20

L'accroissement que l'on remarque dans les quantités de charbon obtenues depuis l'année 1825 est dû principalement aux soins que l'on a donnés à la conduite de l'opération ; mais une circonstance qui doit aussi y avoir contribué, c'est la suppression des tuyaux, que l'on plaçait auparavant dans les meules pour recueillir l'acide acétique formé dans l'opération.

LETTRE

A L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES;

PAR M. LE VICOMTE HÉRICART DE THURY,

Sur les puits forés, et plus particulièrement sur la nature du terrain ou la constitution physique du sol de la ville de Lyon.

Monsieur le Président,

Personne ne s'intéresse peut-être plus vivement que moi au succès des puits forés, ou puits artésiens. J'en ai donné des preuves dans les divers ouvrages que j'ai publiés sur leur établissement; et c'est parce que je prends à leur succès le plus grand intérêt, que je crois de mon devoir de faire connaître à l'Académie mon opinion sur ceux que le conseil municipal de la ville de Lyon se propose de faire percer sur la place de Bellecour, s'il faut en croire les articles insérés dans les journaux.

La nature du terrain, ou la constitution physique du sol de la ville de Lyon est-elle favorable à l'établissement des puits forés?

Telle est la question qu'avant d'entreprendre aucun sondage de puits artésiens, il est nécessaire, je dirai plus, il est essentiel d'examiner avec le plus grand soin et dans le plus grand détail.

Un sondage commencé sans une connaissance exacte du terrain est une opération hasardeuse

se trouvent dans les diverses superpositions du terrain tertiaire sur le secondaire, ou de celui-ci sur le primitif.

Ainsi, la première condition pour obtenir le succès d'un puits foré est donc l'existence de quelques unes de ces superpositions; mais le succès est cependant encore subordonné, ou plutôt dépend de l'état dans lequel se trouvent ces superpositions; les vallées qui les ont ouvertes et déchirées pouvant, dans leur profondeur, donner souterrainement des issues plus ou moins libres ou plus ou moins faciles à l'épanchement de ces nappes d'eau, ainsi qu'on le voit assez fréquemment dans les années de grande sécheresse, en parcourant le lit des fleuves et des rivières lors de leurs basses eaux.

D'après ces principes, amplement développés dans les *Considérations géologiques et physiques sur le jaillissement des sources et fontaines artificielles* (1), je crois qu'avant de vouloir rien entreprendre, les Autorités de la ville de Lyon auraient dû faire examiner avec le plus grand soin le degré de probabilité du succès des puits forés projetés sur la place de Bellecour.

Pour moi, je le dis à regret, je crains bien qu'on n'obtienne aucun succès, et je crois qu'il est de mon devoir de faire connaître à cet égard mon opinion à l'Académie, afin qu'elle la fasse examiner, ou que, si elle l'approuve, elle la transmette à qui de droit, pour arrêter ces essais, qui ne peuvent être qu'infructueux.

La constitution géologique des environs de Lyon ne présente aucune superposition qui pro-

---

(1) Voyez la note placée à la fin de cette Lettre, p. 327.

mette des eaux ascendantes ou jaillissantes, et voici les motifs malheureusement trop fondés de mon opinion.

Les montagnes de Fourvières et de la Chartreuse sont, comme je l'ai dit en commençant, de terrain primitif : le granit en forme la base ; ensuite on trouve des gneiss composés de quartz blanc et de mica ; puis, et vers le nord, des roches micacées argilo-schisteuses recouvrent les gneiss, comme on le voit à l'Ile-Barbe. Enfin ce n'est que vers le Couzon, à plus d'un myriamètre au nord de Lyon, que se montrent le calcaire et ses superpositions.

Au dessus de la Chartreuse, en montant vers la Croix-Rousse, on trouve sur le terrain primitif une formation argileuse plus ou moins sableuse, qui est le commencement de la grande déposition d'argile de la Bresse. Il existe bien, dans cette formation, des nappes d'eau souterraines ; elles y forment même des sources naturelles, partout où elles trouvent de libres et faciles épanchemens dans les déchirures plus ou moins profondes des pentes des montagnes ; mais, par cette même raison, ces nappes d'eau ne pourront jamais donner des sources jaillissantes au dessus de la surface de la terre, dans les puits forés qu'on voudrait y établir.

Quant à la partie inférieure de la ville, ou plutôt à la ville même de Lyon, construite sur le Delta d'entre Rhône et Saône, elle offre encore moins de chances de succès.

En effet, le grand atterrissement de sable et de galets de l'effluve des Alpes, qui recouvre le terrain primitif, ne peut donner que des eaux d'infiltration provenant soit de pluie, soit de

l'une ou de l'autre rivière, et l'on peut s'en convaincre par les fouilles des fondations et le percement des puits des jardins ou des habitations. Ces eaux suivent communément les mouvemens de celles du Rhône et de la Saône.

La proximité du granit au dessous du dépôt de l'atterrissement reconnu dans les divers quartiers de Lyon, soit par les fouilles des fondations, soit par les puits des habitations et des jardins, ne laisse aucun espoir d'autre superposition de terrain, dans laquelle pourrait exister une nappe d'eau ascendante provenant de quelques bassins ou réservoirs plus élevés.

D'après ces observations, que je vous prie, Monsieur le Président, de vouloir bien soumettre à l'Académie, je pense qu'avant d'entreprendre aucun sondage de puits forés dans Lyon, il eût été d'autant plus convenable de bien étudier et déterminer la constitution physique du sol de cette ville et de ses environs, qu'il n'existe encore aucun ouvrage qui ait fait connaître d'une manière exacte la géologie de Lyon, et que l'on puisse consulter. Saussure et Guettard n'en ont parlé qu'en passant et d'une manière bien superficielle : mes observations datent de plus de vingt ans, elles ont été faites dans le temps avec trop de soin pour que je ne reste pas convaincu de leur exactitude ; mais on peut les faire vérifier par MM. Muthuon, Beaunier et Puvis, ingénieurs des mines de Lyon et de Saint-Etienne. MM. les ingénieurs des ponts et chaussées pourraient également donner des renseignemens propres à rectifier ce que je viens d'avancer, et qu'il me semble important de vérifier ou de réfuter avant de faire une tentative dispendieuse, et que

je ne crains pas de déclarer infructueuse et faite en pure perte.

J'ai l'honneur d'être, etc.

HÉRICART DE THURY.

Note du Rédacteur. — L'ouvrage cité dans la Lettre qu'on vient de lire a été composé à l'occasion du concours que la Société royale et centrale d'Agriculture venait d'ouvrir dans l'intention d'encourager les recherches des fontaines jaillissantes, par le moyen des puits forés, ou puits artésiens. Mais, pour rendre ces recherches aussi profitables que possible, et épargner, à ceux qui s'y livreraient, des tentatives inutiles, une Instruction détaillée devait être jointe au programme de ce concours, si important pour l'agriculture et les arts industriels. Personne, sans contredit, ne pouvait mieux que M. le vicomte Héricart de Thury remplir cette tâche difficile; et, sur l'invitation de la Société, il a bien voulu s'en charger. Dans cette circonstance, ce savant a donné une nouvelle preuve de son zèle, en s'empressant de rassembler, dans un même ouvrage, toutes les connaissances propres à fixer les concurrens sur le choix des espèces de terrains où des puits forés pourraient être entrepris avec le plus de chances de succès.

Cet ouvrage, imprimé par ordre de la Société d'agriculture, a paru sous le titre de *Considérations géologiques et physiques sur les eaux jaillissantes des puits forés*; et, comme on sait, les exemplaires en ont été promptement distribués. Faute de pouvoir s'en procurer, on adressait journellement à l'auteur des questions sur le degré de probabilité d'obtenir, dans telles ou telles localités, des eaux jaillissantes, à l'aide de la sonde. Pour répondre, d'une manière générale, aux nombreuses demandes qui lui étaient faites à cet égard, M. le vicomte Héricart de Thury se détermina à reproduire son premier travail, qu'il avait été forcé de composer à la hâte pour remplir les intentions de la Société royale et centrale d'agriculture. Mais, pouvant alors consacrer plus de temps

à ce travail, il lui donna tous les développemens dont il était susceptible, en rattachant à son sujet toutes les connaissances, géologiques et physiques, qui pouvaient jeter du jour sur la théorie, encore nouvelle, des puits artésiens, ou fontaines jaillissantes artificielles.

Ainsi refait sur une base plus étendue, et accompagné de toutes les planches nécessaires à l'intelligence du texte, l'ouvrage dont il s'agit est devenu un véritable traité. Entre autres choses qu'il contient, on y remarque : des recherches curieuses, tant sur l'histoire des puits forés, que sur l'art de les percer; des détails intéressans sur l'origine de la sonde, et sur les différens usages de cet instrument, dont le fontenier, en particulier, a su tirer un parti si avantageux; des considérations physiques sur la cause des sources en général; un précis géologique, très bien fait, sur la formation des terrains de nos continens, à l'aide duquel on pourra établir, d'une manière plus positive, le gisement des eaux dans chaque espèce de formation.

Ce traité a obtenu le plus grand succès; ce qui prouve, d'une part, la bonté de l'ouvrage, et, d'une autre part, combien l'attention est aujourd'hui fixée sur les puits forés, ou puits artésiens, que le public regarde, avec raison, comme pouvant ouvrir de nouvelles sources de prospérité. Ainsi qu'on devait s'y attendre, l'édition de ce même ouvrage a été rapidement épuisée; mais l'auteur, qu'on trouve toujours disposé à sacrifier ses veilles aux objets qui sont d'une utilité réelle, en prépare maintenant une autre édition : en la faisant paraître, ce sera un service de plus qu'il rendra à un art aux progrès duquel il a déjà si puissamment contribué. T.

Manuel de la Métallurgie du fer;

Par C.-J.-B. Karsten,

Conseiller supérieur et intime des mines de Prusse. Traduit de l'allemand par F. Culmann, capitaine d'artillerie attaché aux forges de la Moselle. Seconde édition, entièrement refondue et considérablement augmentée sur la seconde édition de l'original.

La première édition française de ce *Manuel* offrait la traduction de la première édition allemande, enrichie et souvent corrigée par les notes du traducteur. Le succès qu'elle a obtenu a prouvé le mérite de l'ouvrage tel qu'il était alors. Pour montrer ce qu'il est devenu, citons la préface que l'auteur a mise en tête de la seconde édition allemande, sur laquelle la traduction vient d'être entièrement refaite.

« Ce n'est qu'au manque d'ouvrages utiles sur l'art des » forges que j'attribue le succès de mon *Manuel de la* » *Metallurgie du fer*. La comparaison de la première édi- » tion avec la seconde fera voir que je ne me suis, en au- » cune façon, fait illusion sur les imperfections de ce livre. » Bien que je n'eusse pas à m'écarter de mon premier » plan, on verra cependant que la nouvelle n'a presque » de commun avec l'ancienne que la disposition des ma- » tières, et que, dans l'exécution spéciale, elle peut être » regardée comme un ouvrage tout nouveau.

» J'espère qu'on ne blâmera ni l'étendue que je lui ai » donnée pour le rendre complet, ni l'augmentation du » nombre des planches, qui devenait nécessaire, afin qu'il » fût plus utile. La première édition n'en avait pas assez, » c'était son principal défaut; la seconde en aura beau- » coup plus et j'aurais même désiré qu'elle en eût » encore davantage; mais, du moins, celles qui s'y » trouvent ont été dessinées sur des appareils qui sont » en pleine activité et qui présentent les résultats les plus » avantageux; elles en seront d'autant plus précieuses » pour les constructeurs, à qui elles pourront offrir des » modèles.

» Onze ans se sont écoulés depuis l'impression de la » première édition. L'art des forges s'est enrichi pendant » ce temps d'une foule de découvertes et de connaissances » utiles; l'importance en a été sentie en Europe et dans » le nouveau monde, et, au milieu des progrès rapides » de l'esprit humain, elle a excité partout une salutaire » émulation. De nouvelles méthodes ont été adoptées, » les anciennes ont été perfectionnées. Toutefois, on » doit être surpris que, dans l'état actuel des arts et des » sciences, on voie encore paraître des livres qui donnent » des idées entièrement fausses sur la nature d'un métal » si important pour la prospérité des états et si nécessaire » aux besoins de la vie sociale. Les hommes instruits » jugeront si j'ai mieux réussi que mes prédécesseurs, » et si mes découvertes seront de quelque utilité dans la » pratique. »

M. Karsten a donc entièrement refondu son ouvrage, et, profitant des progrès immenses qu'a faits la science métallurgique, il l'a enrichi d'un grand nombre de faits nouveaux et d'observations utiles, il en a traité à neuf plusieurs parties et a donné à toutes beaucoup plus d'extension, afin de les mettre au niveau des connaissances actuelles. Une des parties qui a reçu le plus de développement est la fabrication du fer par la houille. L'auteur a publié sur ce combustible et sur son emploi un ouvrage très intéressant, que M. Héron de Villefosse a traduit, en l'abrégeant, sur la demande de l'Académie des sciences; ce sont les principes établis dans cet ouvrage qui reçoivent leur application dans le traitement du fer par le charbon de terre. Ce procédé, devenu d'un si haut intérêt pour l'industrie française, est exposé dans tous ses détails avec les diverses modifications qu'il comporte. Nul doute que cette partie, où l'on remarque une liaison si intime entre la théorie et la pratique, ne contribue très efficacement à l'amélioration des *fers puddlés*. De notables changemens ont aussi été introduits dans ce qui est relatif à la fabrication du fer-blanc et de l'acier.

M. Culmann, en refaisant la traduction de ce nouvel ouvrage, a, comme dans la première, suppléé à ce qui lui a paru incomplet, par des notes, résultat des expériences et des observations qu'il a faites en inspectant ou

dirigeant des usines françaises, et en visitant celles de l'Angleterre. Il a aussi cherché à rendre l'ouvrage plus concis ; et, sans rien supprimer d'important, il a, par la précision de son style, pu réduire à trois les quatre volumes dont se compose la seconde édition allemande. La division en six parties, adoptée par l'auteur, se prêtait d'autant mieux à cette réduction, que chacun des volumes de la traduction en renfermera deux dans l'ordre suivant :

Tome Ier. — 1°. Propriétés physiques et chimiques du fer. — 2°. Matières premières.

Tome II. — 3°. Machines soufflantes. — 4°. Production de la fonte et des objets coulés.

Tome III. — 5°. Fabrication du fer ductile. — 6°. Fabrication de l'acier.

Chaque volume sera accompagné de planches exécutées avec soin et sur lesquelles les dessins des appareils intéressans porteront les cotes des dimensions, de manière à en rendre l'exécution facile aux constructeurs.

Sans revenir sur le mérite d'un ouvrage qui est maintenant connu et apprécié, nous rappellerons qu'il présente un traité complet à l'usage de ceux qui s'occupent de la préparation et de l'emploi du fer, et qu'il est utile à MM. les propriétaires, directeurs et administrateurs de forges, à MM. les officiers de l'artillerie et du génie, les ingénieurs des mines, des ponts et chaussées et de la marine, à MM. les architectes et entrepreneurs, enfin à tous les artistes et ouvriers en fer ou en acier (1).

---

(1) Les trois volumes, imprimés en caractères neufs, paraîtront successivement, et seront chacun du prix de 7 francs et de 9 francs par la poste. Le premier volume est en vente, le deuxième paraîtra en mars 1830.

Adresser les demandes *franco*, à Metz, chez madame Thiel, libraire-éditeur, rue du Palais, n°. 2 ; on peut aussi les adresser, à Paris, rue de Beaune, n°. 29, et chez les principaux libraires de la France et de l'étranger.

ORDONNANCES DU ROI,

CONCERNANT LES MINES,

RENDUES PENDANT LA SUITE DU SECOND TRIMESTRE DE 1828.

Mines de fer des Deux-Jumeaux.

Ordonnance du 25 mai 1828, portant concession des mines de fer dites des Deux-Jumeaux (Gard).

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.

Art. Ier. Il est fait concession au sieur Frédéric Méjean des mines de fer dites des Deux-Jumeaux, commune de Sumène (Gard).

Cette concession, dont l'étendue superficielle est de quatre kilomètres carrés vingt-sept hectares, est limitée ainsi qu'il suit, conformément au plan qui restera annexé à la présente ordonnance, savoir :

Au nord-ouest, par les deux ruisseaux du Pouget et de Pied-Garen, dont le premier se jette dans la rivière de Rieutor à Sumène, et le second à son confluent dans l'Hérault, au dessous du pont de l'Ivrogne, et la partie du chemin du Pouget allant d'une source à l'autre ;

A l'est, par la rivière de Rieutor jusqu'à la lisière du bois de Montméjean ;

Au sud, par la lisière du même bois, comprise entre la rivière de Rieutor et de celle de l'Hérault ;

A l'ouest, par la rivière de l'Hérault jusqu'au ruisseau de Pied-Garen.

Art. II. Dans le délai des trois mois qui suivront la date de la présente, il sera posé deux bornes fixant les limites, l'une à l'origine du ruisseau de Pied-Garen, et l'autre à celle du ruisseau du Pouget. Cette opération aura lieu aux frais du concessionnaire, à la diligence du préfet et en présence de l'ingénieur des mines, qui en dressera procès verbal, dont copies seront déposées aux archives de la commune de Sumène et à celles de la préfecture du département.

Art. VI. Il sera tenu de se conformer exactement aux clauses et conditions du cahier des charges arrêté en conseil général des mines, et approuvé par notre Directeur général des ponts et chaussées et des mines.

Ce cahier restera annexé à la présente ordonnance.

Art. VII. Le concessionnaire sera tenu de fournir des minérais de fer aux usines qui pourraient être établies dans le voisinage, avec autorisation légale, dans les proportions qui seront déterminées par l'administration.

Cahier des charges pour la concession des mines de fer des Deux-Jumeaux.

Art. Ier. Le concessionnaire ne pourra établir des usines pour fondre les minérais de sa concession, qu'après avoir obtenu à ce sujet une permission dans les formes déterminées par la loi du 21 avril 1810.

Art. II. Le mode de travaux d'exploitation de la mine sera déterminé par le préfet, sur la proposition du concessionnaire et sur le rapport des ingénieurs des mines.

Art. III. A cet effet, le concessionnaire adressera au préfet, dans le délai qui lui sera indiqué par celui-ci, les plans et coupes de l'intérieur de ses travaux déjà exécutés, dressés sur l'échelle d'un millimètre pour mètre et divisés en carreaux de dix en dix millimètres. Ces plans seront accompagnés, etc., etc., etc.

Forge de Vicdessos

Ordonnance du 25 mai 1828, portant que le sieur Denjean *est autorisé à transformer le moulin qu'il possède, quartier de Saureil-d'Amont, commune de Vicdessos* (Ariége), *sur une dérivation du torrent du Suc, en une forge catalane, composée d'un seul feu et de deux marteaux, dans l'emplacement indiqué au plan qui restera annexé à la présente ordonnance.*

Lavoir à cheval de Soye.

Ordonnance du 25 mai 1828, portant que le sieur Faivre *est autorisé à conserver et tenir en activité, conformément au plan annexé à la présente ordonnance, le lavoir à cheval à deux huches, qu'il a établi, pour le lavage du minérai, sur une dérivation du cours de la fontaine dite* Soye, *dans les fossés du château de Citey* (Haute-Saône).

Lavoirs à bras de Citey.

Ordonnance du 25 mai 1828, portant que le sieur Faivre *est autorisé à établir, conformément au plan annexé à la présente ordonnance, deux lavoirs à bras, pour le lavage du minérai de fer, sur le ruisseau dit* de la Fontaine rouge, *dans un terrain qu'il tient du sieur* de Coligny, *au lieu dit* les champs Jean-Degré, *commune de Citey* (Haute-Saône).

Patouillet de Thoires.

Ordonnance du 1er. juin 1828, portant que le sieur Hippolyte-Louis-René-Charles Lebascle d'Argenteuil *est autorisé à conserver et à maintenir en activité, conformément aux deux plans qui resteront annexés à la présente ordonnance, le patouillet pour le lavage du minérai de fer qui existe sur la rivière d'Ourée, dans la commune de Thoires, arrondissement de Châtillon* (Côte-d'Or).

ORDONNANCE du 1er. juin 1828, portant concession des mines de plomb et de cuivre situées dans diverses communes de l'arrondissement de Thiers et Ambert (Puy-de-Dôme).

Mines de plomb et de cuivre.

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.,

ART. Ier. Il est fait concession aux sieurs de la Salzède, Denis et compagnie, des mines de plomb et de cuivre, existant dans les communes d'Olliergues, Augerolles et autres environnantes, arrondisement de Thiers et Ambert, département du Puy-de-Dôme, sur une étendue superficielle de treize kilomètres carrés, et limitée ainsi qu'il suit, conformément au plan qui restera annexé à la présente :

Au sud, par une ligne droite tirée au midi du bourg d'Olliergues et joignant les lieux dits Chabrier-le-Haut et Malfleur ;

A l'ouest, par une suite de lignes droites partant de Malfleur et aboutissant au point dit l'Épine, en passant par les points intermédiaires, la grange du sieur Bayac, le Colombier, le bâtiment dit le Grillon et le Gourdon ;

Au nord, par deux lignes droites partant de l'Epine, passant par la Fouille et aboutissant à la Terrasse ;

Au nord-est, par une suite de lignes droites partant de la Terrasse, passant aux lieux dits le Roncha, Bartiol, Echaut, le Pouget, et aboutissant au lieu dit la Chabanne ;

Enfin, à l'est, par une suite de lignes droites partant de la Chabanne, passant par le Mas-la-Chabanne et aboutissant à Chabrier-le-Haut, point de départ.

ART. II. Il sera planté des bornes, aux frais des concessionnaires, sur tous les points de la délimitation ci-dessus, où le préfet jugera nécessaire cette mesure. L'ingénieur des mines dressera procès-verbal de cette opération. Expéditions du procès-verbal seront déposées à la préfecture du département et dans les archives des communes sur lesquelles s'étend la concession.

ART. III. Les concessionnaires acquitteront les redevances, fixe et proportionnelle, établies par la loi du 21 avril 1810 et par le décret du 6 mai 1811.

ART. IV. Ils paieront aux propriétaires de la surface une rétribution annuelle de vingt-cinq centimes par hectare de terrain compris dans l'étendue de leur concession,

en exécution des art. 6 et 42 de ladite loi, sans préjudice des arrangemens qu'ils auraient déjà contractés avec quelques uns d'entre eux, et nonobstant les indemnités qui pourraient être dues à qui de droit, pour dégâts et non-jouissance du terrain, conformément aux art. 43 et 44 de la même loi.

Art. V. Les concessionnaires seront tenus de se conformer exactement aux clauses et conditions du cahier des charges arrêté en conseil général des mines et approuvé par notre Directeur général des Ponts et Chaussées et des Mines. Ce cahier restera annexé à la présente ordonnance.

Martinet à ouvrer le fer, de S.-Girons.

Ordonnance du 1er. juin 1828, portant que le sieur Pouech *est autorisé à établir un martinet à ouvrer le fer, sur une de ses propriétés, sise au hameau de Lédar, sur la rivière de Lez, attenant au moulin à farine qu'il y possède, commune de Saint-Girons* (Ariége), *et que dans cette usine, qui se composera, conformément au plan joint à la présente ordonnance, de deux feux de chaufferie et de deux marteaux, il ne pourra être employé d'autre combustible que de la houille.*

ERRATA.

Page 190, ligne 19, 10 quintaux, *lisez* 20 quintaux.
Page 200, ligne 2, ne le sont, *lisez* ne sont suspendues.
Page 202, ligne 2, 8,8 le mille, *lisez* 8,8 milles.
Page 212, ligne 1, ton., *lisez* tonnes.
Ib., ligne 8, huit chevaux, *lisez* dix chevaux.
Page 226, ligne 5 de la troisième colonne du tableau, 80 41, *lisez* 804,40.
Ib., ligne 6, 48,64, *lisez* 482,64.
Ib., ligne 14 de la cinquième col., 0,058, *lisez* 0,00584.
Ib., ligne 13 de la septième col., 0,0150, *lisez* 0,0100.
Page 228, ligne 1 de la troisième colonne du tableau, 0,016500, *lisez* 0,001650.
Ib., ligne 6 de la même col., 0,08500, *lisez* 0,008500.
Page 251, ligne 29, 3130, *lisez* 8130.
Page 254, ligne 34, 321, *lisez* 312.
Page 259, ligne 11, comptée, *lisez* comptée sont :

DESCRIPTION

Du procédé de la fabrication de l'acier de forge, à Siegen (Grand-Duché du Rhin) ;

Par M. STENGEL, Inspecteur des forges de Lohe près de Siegen.

(Extrait des *Archives* de M. Karsten, t. 18, p. 332-397.)

Si l'on compare le procédé suivi dans le pays de Siegen pour convertir la fonte en acier à ceux employés dans les autres contrées, on ne peut manquer de lui reconnaître un avantage notable sur tous les autres, celui d'exiger une moindre consommation de charbon ; sous ce seul rapport économique, une description détaillée de l'affinage des fontes pour acier, tel qu'il est pratiqué dans l'aciérie royale de Lohe, près Müsen, sera accueillie avec intérêt.

Les matières premières employées sont :

1°. La fonte blanche lamelleuse, fonte à acier provenant de la fonte des minérais de fer spathique du Stahlberg de Müsen.

2°. La fonte blanche rayonnée ou compacte passant à la fonte impure, quelquefois tachetée d'un peu de gris, moins propre à la fabrication de l'acier, et qui est produite par un mélange de minérai de fer spathique et de *brauneisenstein* ; elle est connue sous le nom de *nebeneisen*.

3°. Le charbon de bois de bonne qualité, ordinairement de hêtre.

Le fer spathique est principalement mêlé de quarz, il s'y trouve aussi du schiste argileux en petites parties et un peu de talc.

De tous les minéraux du pays de Siegen, celui du Stahlberg est reconnu pour donner la fonte la plus propre à la fabrication de l'acier de bonne qualité; quelques autres produisent bien de la fonte d'une aussi belle apparence, mais l'acier qu'on en obtient n'est jamais aussi bon. Les propriétés qui font principalement rechercher l'acier de Müsen sont de se bien laisser forger à toute température, et de prendre une grande dureté; on ne sait pas bien à quoi elles sont dues.

La fluidité de la fonte blanche lamelleuse et la lenteur avec laquelle elle se coagule (prend nature) par l'affinage, tel qu'il est pratiqué, sont des circonstances favorables à une décarburation uniforme et progressive de cette substance, jusqu'au point où elle est changée en acier; enfin, la pureté de cette fonte, démontrée par l'excellente qualité du fer doux qu'on en obtient en l'affinant convenablement pour cet objet, et par l'examen des scories, qui ne renferment aucune substance nuisible combinée avec le manganèse oxidé, doit certainement contribuer pour beaucoup aux propriétés utiles de l'acier qu'elle produit.

On a pensé qu'une petite quantité d'argent (que l'analyse n'a pas fait reconnaître dans l'acier), mais dont on voit l'origine dans le *fahlerz*, qui se trouve dans les minérais, pouvait influer sur les propriétés de cette substance, comme M. Faraday l'a fait voir en composant un alliage

d'acier et de 4/5 pour 100 d'argent; mais en calculant sur la proportion de fahlerz qui existe dans les minérais, on trouve que l'acier de Lohe ne pourrait renfermer au dessus de 0,006 pour 100 d'argent; ce qui est tout à fait insignifiant.

L'affinage ou la conversion de la fonte en acier a lieu dans un foyer ou creuset, dont les parois latérales sont formées par l'assemblage de plusieurs plaques de fonte; mais le fond ou sole est composé de plusieurs morceaux de grès réfractaire appartenant à la formation des grauwackes, et unis entre eux par un ciment argileux.

On en voit les dispositions dans les *fig.* de la Pl. XII, où la *fig.* 1 est le plan du foyer, et celles 2 et 5 des coupes; les mêmes objets sont indiqués par les mêmes lettres dans toutes ces figures.

a est la plaque de tuyère qui entre dans le creuset,

b celle de contrevent,

c la haire,

d la sole,

e la face de laiterol.

AA (*fig.* 3) sont des canaux servant à débarrasser le dessous du creuset de l'humidité du sol.

BB murs qui entourent le foyer.

CC pièces de fonte qui supportent la cheminée.

DD piliers en fonte, qui, partant de dessous le sol de l'usine, se réunissent à la traverse E pour former la cage de la tuyère; ils portent deux saillies *m m*, destinées à recevoir la plaque F, sur laquelle on pose les pièces de fonte GG, qui

ferment la partie supérieure de cette cage lorsque la tuyère est en place.

Auprès de ces piliers D, se trouve encore une masse de fonte H, ordinairement une vieille enclume, placée en contact avec le pilier, et pour consolider la plaque *c*. La face du chio est formée par plusieurs prismes de fonte mis les uns sur les autres, et qui laissent au milieu un intervalle pour l'orifice L, par lequel doivent sortir les scories, qui couleront sur la plaque saillante M, placée au niveau de la sole du foyer.

Les prismes de fonte formant la partie antérieure du creuset, au dessus du trou de chio, sont recouverts par une plaque de même métal, qui s'étend jusqu'aux supports D. Pour donner plus de solidité à cette paroi antérieure, des prismes de fonte sont enfoncés verticalement dans le sol de l'usine, et s'élèvent jusqu'au niveau supérieur du creuset, où ils sont assemblés dans la plaque *e;* en outre, ces mêmes prismes P sont retenus à leur pied par une pièce de fonte Q placée en travers et dans le sol.

Devant le trou du laiterol, est une fosse R, recouverte, à l'ordinaire, d'une plaque de fonte, et destinée à recevoir les scories liquides.

Du côté du contrevent *b*, une plaque de fonte S, placée horizontalement, s'étend d'environ 9 pouces dans le creuset, en le recouvrant à sa partie supérieure ; à la suite de la haire *c*, il y a aussi une plaque horizontale T, destinée à recevoir la brasque ou menu charbon, que l'on sort du foyer après avoir retiré la loupe. V est un billot de bois sur lequel la tuyère est fortement clouée.

La cheminée a 27 pieds de hauteur à partir du

sol, et, intérieurement, un vide de 28 pouces sur 22 (1).

Les soufflets sont pyramidaux, de 7 pieds de longueur; le volant s'élève de 18 pouces; la buse n'a que $9\frac{1}{2}$ lignes de diamètre; une roue hydraulique à augets les fait mouvoir.

Dans le procédé suivi à Siegen, on emploie un vent assez fort, quoique en quantité médiocre, et, en raison de cela, les soufflets en cuir sont préférables à ceux de bois. D'après le travail ordinaire, la vitesse de l'air sortant de la buse est 336 pieds; quand les soufflets ont une activité moyenne, ils projettent dans le foyer 81 pieds cubes d'air par minute, comprimé par une liv. $\frac{1}{2}$, et dans le cas où on les fait mouvoir très rapidement, par 2 liv.

Des soufflets en bois exigeraient certainement des réparations plus fréquentes que ceux en cuir, eu égard à cette pression; on en a fait l'essai à Lohe, et l'on en est revenu à ces derniers. Les fentes qui se font si fréquemment dans les soufflets en bois ne peuvent être aperçues ni réparées promptement; le vent se perd, et s'affaiblit tant sous le rapport de la quantité que de la compression; l'opération languit alors, le déchet augmente, et au lieu d'obtenir 74 d'acier pour 100 de fonte, on n'a souvent que 62 ou 65 : c'est ce qu'on appelle une *allure froide*, qui est toujours désavantageuse; cependant comme l'entretien des cuirs demande beaucoup de soin et occasione des frais, il est à croire que des soufflets à piston, qui pourraient fournir de l'air sous

(1) Le pied du Rhin est de $0^m,31$.

une pression de 2 liv., conviendraient parfaitement à la fabrication de l'acier.

Les dimensions du creuset dont on fait usage sont de 2 pieds 6 pouces de largeur depuis la face de tuyère (et à la hauteur de celle-ci) jusqu'à celle du contrevent, et de 2 pieds 8 pouces dans le sens perpendiculaire. Les trois plaques formant les parois s'enfoncent jusqu'à la base des pierres de sole, ainsi qu'on le voit dans les *fig.* 2 et 3. Le contrevent est un peu déversé en dehors d'environ 1 pouce, et la haire de 2 pouces; ce qui n'a d'autre objet que de faciliter la sortie de la loupe : au contraire, la warme incline dans le foyer de 3 ou 4 pouces, selon que les soufflets donnent moins ou plus de vent. Cette disposition a pour but de projeter l'air sortant de la tuyère plus efficacement sur la face opposée, et, par suite, dans le creuset; lorsque la warme est verticale, le courant d'air, se brisant contre les charbons, vient frapper le contrevent sous un angle aigu, et tend à sortir du creuset sans avoir produit d'effet : on reconnaît, au reste, les effets de l'inclinaison de la warme à la flamme produite par le vent, qui se montre presqu'à l'extrémité de la tuyère dans le cas où elle est faible, et qui se porte vers le contrevent lorsqu'elle est plus forte; c'est la direction la plus convenable. La plaque de warme, étant peu inclinée, est aussi plus exposée à se fondre que dans la situation opposée.

La sole est ordinairement horizontale ; cependant lorsque l'on sait que la fonte s'affinera trop vite, on donne au fond du creuset une légère pente vers le contrevent, ce qui fait répandre

l'air en plus grande abondance de ce côté; dans le cas contraire, ou pour une fonte d'un affinage plus difficile, la pente doit être du côté de la warme.

Les faces de warme et de rustine formeront un angle un peu aigu lorsque la nature du charbon ou celle de la fonte sera telle que l'affinage de celle-ci tendra à s'opérer promptement, car cette disposition a pour effet de le ralentir; dans le cas contraire, ce même angle est obtus.

Le creuset, représenté par la *fig.* 1, est disposé pour un affinage un peu difficile ; on fait varier la position du plan de la warme relativement au plan perpendiculaire $\epsilon\zeta$, de $\frac{1}{2}$ à 1 pouce, tant pour former un angle aigu qu'un angle obtus. La ligne $\gamma\delta$ indique la position que l'on donne à la warme lorsque le métal est disposé à s'affiner trop promptement.

Sans doute ces dispositions produisent quelque effet ; mais il en est de bien plus efficaces, et dont l'usage est préférable pour diriger la marche de l'affinage : telles sont l'élévation plus ou moins grande de la tuyère au dessus du fond, et sa position ainsi que son inclinaison dans le creuset.

Sa hauteur doit être plus grande dans le creuset lorsque l'affinage tend à s'opérer rapidement, et moindre dans le cas contraire : la moyenne est de 4 pouces $\frac{3}{4}$; mais, dans le premier cas, de 5 à 6 pouces, et dans l'autre seulement 4 pouces $\frac{1}{2}$. On la fait varier aisément en plaçant ou en enlevant des cales minces en fer, sur lesquelles repose la tuyère. On mesure cette hauteur, à partir de la partie inférieure de l'orifice de la tuyère; sa saillie est de 5 pouces et son inclinaison plon-

geante de 2 à 3 degrés dans les cas ordinaires; une plus forte inclinaison accélère l'affinage, et une moindre le retarde. Les buses des soufflets sont placées à 1 $\frac{1}{4}$ ou 1 $\frac{1}{2}$ pouce en arrière de l'orifice de la tuyère, et leurs axes forment un angle de 15 à 20 degrés. On ne doit pas reculer davantage les buses dans la tuyère, parce que le vent sortant de chacune d'elles choquerait les parois de celle-ci, d'où résulteraient un changement de direction et un affaiblissement dans la force du courant porté dans le creuset; en outre, l'extrémité de la tuyère n'est plus refroidie suffisamment et brûle facilement. On conçoit aussi que la direction et l'inclinaison des buses sont importantes, puisque si le vent frappe la paroi supérieure de la tuyère, il sera réfléchi vers le fond du creuset, et d'une manière opposée, si c'est la paroi inférieure qui est frappée : dans ce cas, son action sera diminuée.

La tuyère reçoit une déclinaison vers la partie antérieure du creuset, afin que le vent s'y porte et y maintienne une température élevée, qui empêche la coagulation des matières; cela facilite l'écoulement des scories et le travail de l'ouvrier, à l'aide du ringard, travail toujours plus pénible dans cette partie.

L'orifice de la tuyère, dont la *fig.* 4 représente la forme, a 16 lignes de longueur sur 7 de hauteur; on remarquera que sa partie supérieure est un peu saillante sur celle inférieure, afin que le vent s'étende moins dans le charbon de la superficie et ne le brûle pas en pure perte.

Le plat de la tuyère n'est pas placé horizontalement (*fig.* 2 et 3); il reçoit une inclinaison

vers la haire, telle que de l'eau qui serait versée dessus coulerait dans l'angle intérieur situé de ce côté : la bouche de la tuyère est par conséquent oblique, et le vent est rendu un peu plus plongeant dans la partie postérieure du foyer ; ce qui contribue à y maintenir les scories plus fluides, circonstance toujours favorable à l'afffinage pour acier.

Toutes les précautions ayant été prises pour bien placer la tuyère, il y a un moyen de s'assurer que l'on a réussi, c'est à dire que le vent est distribué dans l'intérieur du creuset de la manière accoutumée et reconnue pour la plus convenable ; les ouvriers ne manquent guère à faire cet essai lorsqu'il s'agit de commencer une nouvelle opération, après avoir sorti une loupe d'acier : il consiste à faire jouer les soufflets dans le creuset encore vide, et dont le fond seulement est recouvert d'une légère couche de brasque ou menu charbon ; le vent en chassera une partie, et dans le cas où les buses et la tuyère auront été placées convenablement, le vent aura laissé découvert un espace demi-circulaire *o m p* (*fig.* 1), de manière que le point le plus rapproché de la tuyère *m*, où l'air est projeté, se trouve situé au tiers de la largeur du creuset, à partir du contrevent, et que la distance du point *o*, limite de la partie découverte, au point *q* de la haire soit d'environ 6 pouces. On voit que le vent vient frapper très près de la paroi antérieure.

Selon que la fonte s'affine trop lentement ou trop vite, et que l'on a rendu la tuyère un peu plus plongeante et plus basse ou un peu moins inclinée et plus élevée, la distance de *m* à *b* se trouve plus grande ou moindre.

Dans la construction du creuset, il n'y a guère à remarquer autre chose que la manière dont on établit le fond ou la sole en pierres liées avec de l'argile; on a soin d'élever ce fond à une hauteur convenable relativement à la tuyère, et cela en mettant une certaine épaisseur de terre sous ces pierres. Les faces extérieures des plaques de fonte, souvent inclinées, sont garnies d'argile, qui vient toucher la maçonnerie du massif.

La tuyère fixée sur le billot V est ensuite assujettie par des cales et des pierres *rrrr* (*fig.* 3); mais avant de la fixer définitivement, on place les buses et l'on fait l'épreuve dont nous avons parlé pour connaître l'effet du vent.

Lorsque le creuset est entièrement achevé, on couvre la sole d'une faible couche de battitures, destinées à la préserver de la première action du feu sur les pierres, qui tend à les faire éclater, en se vitrifiant à la surface; cette matière fondue remplit les interstices qu'elles laissent entre elles, et forme ainsi une sole unie et continue comme si c'était une seule pierre. A défaut des battitures, on se sert de grenailles de fer provenant du bocardage des laitiers. On remplit de charbon, et l'on chauffe pendant une heure, si le refroidissement au massif n'est pas complet, et pendant cinq dans le cas contraire.

En commençant à chauffer, on jette une pelletée (environ un demi-pied cube) de scories riches et par dessus on place un morceau de la fonte qu'il s'agit de convertir en acier; son poids est de 30 à 40 livres; c'est un prisme large et peu épais, dont on voit la position en *mn* (*fig.* 2); il est à peu de distance du contrevent, présente sa face large à la tuyère, et descend dans le char-

bon presque à 3 pouces du creuset. Il se fond peu à peu au milieu du combustible, et l'affineur a soin qu'en descendant il ne s'incline pas vers la warme, mais bien en tenant son extrémité supérieure près du contrevent, c'est à dire dans cette partie du creuset où nous avons vu que se répand l'air au sortir de la tuyère, et qui serait limitée par les lignes *bm ty* (*fig.* 2) s'il n'y avait point de charbon dans le foyer; mais, dans la réalité, le courant d'air divisé par la rencontre des morceaux de charbon est disséminé dans toute la capacité du creuset; seulement, la chaleur est assez forte derrière la pièce *mn*, et en raison de la plaque S, qui forme saillie sur le contrevent, pour liquéfier cette fonte sans qu'elle perde sensiblement du carbone qui y est combiné; mais l'affinage ou le changement de nature, la coagulation, doit commencer dès que le métal s'est répandu fluide sur la sole du creuset. Il est à remarquer que si l'on craignait un trop long retard dans le premier affinage, il faudrait employer un morceau d'acier du poids de 35 à 40 livres, provenant de la dernière loupe fabriquée, au lieu de fonte, pour commencer l'opération.

Le procédé de fabrication de l'acier par l'affinage de la fonte consiste en général en ce qui suit :

Faire fondre dans un foyer disposé comme on l'a indiqué, et à six ou sept reprises, des morceaux de fonte d'une épaisseur de 2 pouces au plus, en les plaçant dans une situation particulière, qu'on a fait connaître ; ensuite, à chaque fois qu'un morceau est fondu, liquéfier la tota-

lité ou une partie de la masse aciéreuse qui se trouve dans le creuset, et cela jusqu'à ce que l'ensemble soit parvenu à un degré déterminé d'affinage.

Le premier morceau de fonte, ainsi que ceux que l'on ajoute successivement, prennent le nom de *heissen* ou de *zacken*, et le premier de *treibzacken*. On choisit pour celui-ci de la fonte qui n'est pas tout à fait celle dite blanche lamelleuse (*spiegel eisen*), mais d'une structure rayonnée et d'ailleurs très propre à la fabrication du fer: on la nomme *nebeneisen*. Celle qu'on regarde comme la meilleure pour commencer provient d'un mélange de deux tiers de braunstein et d'un tiers de fer spathique; son grain est fin, et présente des taches grises; elle forme un passage entre celle produite par l'allure chaude (*gaare*) et celle qui donne de la fonte blanche (impure) dans le haut-fourneau. On l'emploie de préférence dans les deux premières charges, et ensuite, pendant le reste du travail, c'est de la fonte lamelleuse. La première se fond aisément et s'affine promptement; il y a donc économie de temps et de charbon, et c'est pour cela qu'on en fait la base d'un affinage. Si l'on se servait de fonte grise (*nebeneisen*) provenant des mêmes minérais, il lui faudrait trop de temps pour prendre nature; au contraire, si c'était de la fonte blanche ordinaire (impure), qui ne serait point le produit de minérais manganésifères, on n'obtiendrait qu'une sorte d'acier ferreux.

L'emploi de la fonte blanche lamelleuse au commencement n'est point économique, parce que l'affinage languit: en effet, lorsqu'on a donné

le vent, la fusion de la fonte, dite *nebeneisen*, n'exige guère qu'une demi-heure et son affinage autant; tandis que la fonte blanche lamelleuse (*spiegel eisen*), qui se fond aussi vite, quelquefois plus vite que l'autre, ne prend nature qu'au bout d'une heure et demie ou deux heures; non seulement, dans ce cas, la consommation de charbon est très forte, mais l'acier formé est plus difficile à forger, la loupe se brise sous le marteau à cingler, et il en résulte beaucoup de déchet : à cela près, l'acier peut être de bonne qualité et même plus dur que celui obtenu à l'ordinaire. Pendant la première fusion de cette fonte, les scories demeurent crues et très fluides ; il se forme peu d'oxide de fer, et c'est celui de manganèse qui produit cette fluidité. Les charges suivantes s'affinent aussi avec difficulté, et l'on emploiera douze heures pour faire la loupe, qui n'en exige à l'ordinaire que huit. Pendant un affinage prolongé, les scories, demeurant très fluides, attaquent et corrodent la sole et les plaques des parois.

Les morceaux de fonte (*zacken*) ne doivent pas avoir une largeur plus grande que 8 à 10 pouces et une épaisseur au dessus de 1 $\frac{1}{2}$ à 2 pouces, parce que la fusion en serait trop longue et occasionerait inutilement une grande consommation de charbon ; d'ailleurs, pendant cette liquéfaction prolongée, la masse aciéreuse contenue dans le creuset prendrait un trop haut degré d'affinage. Au reste, et toujours sous ce même point de vue, l'affineur fait varier le poids de la charge en fonte, selon qu'il juge l'affinage plus ou moins avancé, et la marche de l'opéra-

tion plus ou moins favorable à cet effet (*gaar-oder rohgang*).

En commençant une fonte dans un foyer froid, on chauffe graduellement, afin de ménager la sole ; et pour qu'il se forme des scories liquides avant la fusion du métal, celles que l'on a ajoutées et les cendres du charbon qui a été brûlé suffisent pour cela ; mais lorsqu'on a retiré une loupe, et que l'on veut en commencer une autre, le creuset en conserve toujours assez ; elles sont d'abord en masse tenace, qui devient ensuite fluide ; et, s'élevant à 3 pouces de hauteur, se laisse pénétrer par le métal, à mesure qu'il se liquéfie, le recouvre et le préserve de l'oxidation, tout en lui conservant sa fluidité ; au bout d'une demi-heure, comme nous l'avons dit, la charge étant fondue, le ringard pénètre sans obstacle jusqu'aux pierres de la sole.

Ce n'est pas par le milieu, comme on pourrait le croire, que commence la conversion en acier ; une température plus élevée qu'ailleurs y maintient la fonte dans une trop grande fluidité : c'est vers les bords du creuset qu'il se forme, en premier lieu, des masses molles et tenaces, qui s'étendent peu à peu, à mesure que le carbone est enlevé, et que, en raison de cette circonstance, la fusibilité du métal diminue.

Pour que la soustraction du carbone fasse des progrès, il faut ajouter une seconde charge en fonte, et l'on reconnaît que le moment est arrivé, à divers indices, principalement à la consistance du métal dans le creuset ; l'ouvrier doit sentir avec son ringard qu'il est un peu dur, mais qu'il prend l'empreinte de cet outil ; il doit, pen-

dant tout le cours de la formation de la loupe, sonder fréquemment dans le creuset, afin d'être toujours informé de la marche de l'opération et d'être en mesure de la changer, dans le cas où elle ne serait pas convenable. Il en est ici comme dans l'affinage pour fer, auquel ce mode de fabrication de l'acier ressemble beaucoup (la principale différence consiste en ce que les changemens chimiques s'opérant sous la tuyère, la décarburation du fer est devenue bien plus difficile), les variations dans la couleur et la vivacité de la flamme servent à juger de ce qui se passe dans le creuset (1): celle qui de jaune et sombre qu'elle était devient blanche, claire et vive annonce les progrès de la conversion en acier. L'affineur fait toujours usage des deux sortes d'indices dont nous venons de parler.

L'affineur tire aussi des indices importans de l'apparence des scories qu'il fait couler de temps en temps; il juge de leur nature par ce qui s'en attache aux ringards et par leur couleur au moment de l'écoulement : on en distingue de trois sortes, celles riches (*gaare lacht*), celles crues (*roh lacht*), et celles moyennes ou intermédiaires (*mittlere lacht*) entre les deux précédentes.

1°. Scories crues : elles coulent avec une couleur rouge, qui annonce une température peu élevée; elles se solidifient promptement et ne se boursouflent point; elles ne s'attachent au rin-

(1) Dans l'un comme dans l'autre, elle prend diverses apparences suivant la nature du charbon, celle de la fonte et les substances ajoutées pendant l'opération; et un affineur expérimenté ne néglige jamais les inductions qu'il peut tirer de ces divers changemens.

gard que rarement, quelquefois seulement sous forme de pellicule mince, de couleur noire : refroidie en masse, sa cassure est inégale, noire, d'un éclat gras, qui se rapproche de celui métallique :

2°. Scories riches (1) : elles se prennent au ringard, en parties épaisses et consistantes ; elles coulent en montrant une couleur d'un blanc éclatant et sont épaisses ; il leur faut beaucoup de temps pour leur refroidissement, elles se boursouflent ; la cassure en est rayonnée ou inégale, à structure rayonnante ; la couleur est éclatante presque comme celle du fer oligiste.

3°. Les scories intermédiaires sont particulières à la fabrication de l'acier, et pourraient être considérées comme des scories riches, qui seraient devenues très liquides par suite d'une addition d'argile ou de sable, faite pendant l'affinage, ou bien par la fusion de quelques morceaux détachés des pierres de sole ; elles sortent du creuset avec une couleur d'un blanc vif ; refroidies, la couleur de leur cassure est le gris plus ou moins métallique ; elles s'attachent aux ringards, mais s'en séparent étant encore rouges.

Sous le rapport du soudage de la loupe, les scories crues sont favorables, mais l'opération dure trop long-temps et la consommation du charbon est trop forte ; l'acier forgé, provenant

---

(1) Expression prise pour l'équivalent de *gaare lacht*, scorie affinée, c'est à dire produite pendant un affinage rapide ; elle est toujours riche, parce que, dans cette circonstance, il se forme et se combine avec la silice une forte proportion d'oxide de fer. A. G.

d'une loupe formée avec ces scories, n'a d'ailleurs aucune mauvaise qualité. Les scories très riches et visqueuses empêchent la réunion complète des parties d'acier, et la loupe se soude mal; une scorie moyenne est la plus convenable.

La formation des scories crues est toujours le résultat et l'indice d'une marche languissante de l'opération, d'une *allure crue* (*rohgang*) : celle-ci a lieu lorsqu'après la fusion de la fonte la décarburation du métal est fort lente, ce qui fait qu'il demeure liquide sans prendre nature : c'est alors que l'on juge utile d'ajouter des scories riches ou des battitures qui hâtent l'affinage. Les scories riches (*gaare*) sont produites dans des circonstances opposées, lorsque l'affinage s'opère rapidement, quelquefois trop promptement, et à ce point qu'on doit la ralentir en ajoutant de l'argile ou du sable, qui changent la nature des scories en les rendant plus fluides.

Il importe que l'affineur connaisse bien la meilleure marche à donner à l'opération; qu'il la maintienne constamment, en s'assurant de l'état du métal et des scories par les moyens indiqués précédemment.

La fabrication de l'acier est un art tout à fait empirique, dans la pratique duquel l'ouvrier trouve, pour chaque cas qui se présente, un remède ou un moyen d'action indiqué par l'expérience; le succès dépend essentiellement de son jugement, qui lui fait apprécier avec justesse chaque apparence et appliquer le remède qui convient. Parmi les moyens dont il dispose se trouve au premier rang l'air ou le vent, dont il peut faire varier la quantité et la

vitesse, selon ce qui est présumé se passer dans le foyer : si l'affinage s'opère bien, *le vent sera fort pendant toute la charge;* s'il est lent, il devra être plus faible, parce qu'une forte chaleur empêche la coagulation des parties, qui, contenant encore une proportion de charbon plus grande que celle qui constitue l'acier, ne se réunissent point. Un charbon dur exige un vent plus fort; on regarde celui de hêtre comme préférable pour fabriquer l'acier, celui de chêne laisse trop de passage au vent; la masse en est trop poreuse et l'affinage va lentement : c'est l'allure crue, et les scories sont de celles dites aussi crues, qui rongent la sole du creuset ou la warme; enfin, on consomme un quart de plus de ce charbon que de celui de hêtre.

Nous avons laissé l'opération à ce point où le premier morceau de fonte ayant été liquéfié, l'affineur reconnaît, à l'aide du ringard, que le métal est sensiblement durci : c'est alors qu'il fait la seconde charge ou *mise,* qu'il place le second morceau de fonte dans le creuset exactement comme le premier; seulement son poids est plus considérable, à peu près double, et de 75 à 80 livres; mais il doit encore, à cette époque, s'assurer, par des sondages faits avec le plus grand soin, que la première charge a réellement pris nature, ce qui exige une certaine habitude, parce que le métal se trouve étendu en couche mince sur la sole, et qu'en raison de cela, si l'on n'y fait pas bien attention, en sondant vers les parois et au milieu du creuset, on peut facilement se tromper, et regarder la congélation comme partielle ou insuffisante lorsqu'elle est cependant

arrivée au point convenable. Si on a outre-passé ce terme, il arrivera que le métal sera trop affiné dans le creuset lorsque la nouvelle charge y arrivera fondue, et qu'elle ne pourra se redissoudre complétement Si l'on oubliait de passer le ringard vers les parois du creuset, on pourrait aisément méconnaître l'état coagulé du métal, qui s'y trouve souvent réuni en totalité sous la forme d'un anneau de 3 à 4 pouces de largeur; le milieu, demeurant vide, pourrait faire croire que fonte y est encore liquide.

Dans le cas d'un affinage convenable et bien conduit, le métal est étendu en une couche mince sur la totalité de la sole; mais si l'opération a été languissante, il se présente souvent sous la forme annulaire; quelquefois aussi on le trouve presqu'en entier rassemblé dans un seul endroit, sous la tuyère ou vers l'orifice du laiterol.

Lorsqu'on a atteint ce degré d'affinage tel qu'il convient de liquéfier le second morceau de fonte, on fait couler une partie des scories; car on doit faire remarquer qu'on en conserve toujours dans le creuset pendant tout le temps de la formation de la loupe, tant pour préserver la masse aciéreuse de l'action du courant d'air que pour faciliter l'étirage subséquent des morceaux de la loupe précédente, opération qu'il serait impossible d'exécuter sans une enveloppe de scories; ces lopins sont chauffés au dessus de la tuyère, et doivent éprouver une chaude suante, sans laquelle, au lieu de se souder, leurs parties se sépareraient; cependant une trop grande quantité de scories serait nuisible, en ce que, trop crues,

elles retardent l'affinage, et, trop riches, elles font brûler la tuyère.

La scorie formée pendant le traitement de la première charge doit être de l'espèce dite moyenne, pas trop crue, mais fluide, afin que le vent puisse la repousser et agir sur le métal pour accélérer l'affinage; on satisfait à ces conditions en choisissant une fonte telle que celle nommée *nebeneisen*, qui s'affine aisément, et en se servant de charbon de hêtre; mais si, par quelque cause que ce soit, la fonte demeurait trop crue (non affinée) dans le creuset, il faudrait ajouter des scories riches, afin de changer la nature de celles qui se forment et accélérer l'affinage; souvent il se passe une demi-heure avant que l'acier prenne nature, et si cela arrive successivement à plusieurs charges, on perd beaucoup de temps et de combustible.

Le laitier riche, toujours épais, empêche l'air de passer, et s'attache facilement à la tuyère; on jette de l'argile dans le creuset, pour l'amener au degré de fluidité convenable; mais il faut user de ce moyen avec prudence, parce qu'une scorie trop liquide tend à dissoudre la sole.

Le choix du second morceau de fonte, la seconde *mise*, n'a pas moins d'importance, en raison de la propriété de celle-ci, que le premier. Lorsque l'affinage de la première charge s'est opéré dans un temps convenable, il n'est pas nécessaire que la seconde soit formée de la même sorte de fonte (*nebeneisen*), elle peut être d'un affinage moins facile, et même on peut prendre de la fonte blanche lamelleuse; car si le prompt affinage de la première fonte avait eu lieu avec

un vent faible, ce qui indiquerait qu'elle perd son carbone avec beaucoup de facilité, il serait à craindre, en continuant de l'employer, qu'on ne formât qu'une masse ferreuse, qui serait difficilement dissoute. Le métal de la seconde charge dissout ordinairement celui de la première complétement lorsqu'ils sont dans des proportions convenables; si la quantité de fonte de la seconde charge est trop faible par rapport à la première, ou bien si le métal de celle-ci est trop affiné (trop dur, comme disent les ouvriers), la dissolution n'est que partielle, et la partie inférieure de la loupe est de la nature du fer. On obtient une dissolution complète lorsque la première fonte ayant perdu de son carbone jusqu'au point de devenir dure, la seconde en perd un peu moins, de manière que le mélange n'en renferme qu'un peu moins que l'ensemble des deux fontes primitives, et se trouve ainsi rapproché de la nature de l'acier.

Ordinairement il se passe une demi-heure depuis qu'on a placé la charge jusqu'à l'instant où elle est entièrement fondue; et jusqu'à la dissolution de la première, une autre demi-heure ou trois quarts d'heure: cette dissolution commence au milieu et s'étend ensuite vers les bords. Lorsqu'elle s'arrête, l'affineur cherche, avec son ringard, à faire arriver les parties encore dures au milieu de celles liquides, pour qu'elles s'y fondent.

Lorsque le métal de la première charge ne se ramollit pas par le contact de la seconde, qui se réunit à l'état liquide dans le creuset, et cela parce que la fonte composant celle-ci se trouve

en trop faible quantité, la loupe est peu homogène et se brise sous le marteau qui la cingle.

La troisième mise pèse ordinairement de 65 à 70 liv. jusqu'à 80; la fusion en est assez prompte, elle n'exige guère plus d'un quart d'heure : lorsque l'affinage a commencé, on fait couler les scories jusqu'à ce qu'elles soient descendues à une certaine hauteur dans le creuset. Ces scories doivent être plus épaisses, plus riches que celles formées précédemment, parce que le métal se trouvant alors plus rapproché de l'orifice de la tuyère, l'affinage est plus rapide et plus prononcé : aussi la masse aciéreuse se présente-t-elle plus ferme au ringard de l'ouvrier, qui ne peut alors atteindre le fond du creuset.

La quatrième charge, placée comme les précédentes, n'est que de 60 à 65 livres; elle se fond comme elles, mais elle ne dissout pas complétement le métal réuni dans le creuset : cet effet n'a lieu que sur une portion, et au milieu, où se trouve un creux assez profond et d'environ un pied de diamètre lorsque l'opération a suivi une marche régulière. S'il en était autrement, cela viendrait de ce que l'affinage n'aurait pas été poussé assez loin dans les fontes précédentes, le métal ayant conservé une trop forte proportion de charbon.

Dans le cas contraire d'un affinage trop avancé, il n'y a pas de cavité au milieu de la masse aciéreuse, et l'on ne peut faire prendre nature à la quatrième charge qu'en faisant écouler presque toutes les scories et en fondant tout le métal; mais ensuite le laitier manque dans le creuset, et l'on est obligé d'en remettre une pel-

letée. C'est à cette époque, et dans ces circonstances, que le ringard, plongé dans la masse aciéreuse, ramène, adhérente à sa surface, une matière analogue aux battitures (*gluhspaan*), et que les ouvriers appellent *frischvogel;* sa présence et les caractères extérieurs fournissent des indices pour la conduite du reste de l'opération.

Lorsqu'il reste une grande épaisseur de scories sur la masse d'acier, et surtout quand elles sont fort riches en oxide de fer, il se forme à la surface du métal une pellicule ferreuse; on remédie à cet inconvénient en faisant couler les scories et opérant comme précédemment.

La loupe d'acier est presque entièrement formée après la quatrième charge.

La cinquième, dont le poids ne s'élève qu'à 40 ou 45 livres, est fondue comme les autres, et se trouve alors contenue dans un creux d'environ 8 ou 10 pouces de diamètre, existant au milieu de la loupe; on laisse la fonte s'affiner, et, après trois quarts d'heure ou une heure, elle se coagule à la consistance du beurre.

La sixième charge n'est que de 30 livres de fonte; on ne la met dans le foyer que lorsqu'on retire de celui-ci le ringard entouré de battitures; elle se fond et forme un trou au milieu du métal, car les bords de ce dernier s'élèvent presque jusqu'à l'orifice de la tuyère.

On procède de même pour la septième et dernière charge, qui élève la loupe jusqu'au niveau de la bouche de la tuyère, et alors les scories doivent être seulement assez élevées pour ne pas s'introduire dans cette dernière.

La quantité de charbon consommée pour

chaque charge, jusqu'à la quatrième, est à peu près la même (1,32 tonne), et seulement les deux tiers de celle-ci, à partir de la cinquième.

La formation d'une loupe exige 7,92 tonnes (1) de charbon ; mais il faut remarquer que les lopins de l'affinage précédent sont chauffés et étirés avec ce même combustible.

Lorsque la fonte, employée au commencement (*nebeneisen*), est d'un affinage difficile, la consommation est souvent augmentée d'un tiers pour les quatre premières charges, parce que son influence s'étend jusque-là.

La dernière mise paraissant affinée, on arrête les soufflets, on enlève les charbons et les scories, afin de mettre la loupe à découvert : alors il faut reconnaître soigneusement si la fonte chargée en dernier lieu est bien réellement au point d'affinage convenable. Dans ce cas, on la sort immédiatement du foyer, parce qu'elle pourrait s'éclater. Si cette fonte était encore molle ou un peu crue, il faudrait l'y laisser séjourner pendant un quart d'heure; on jette au milieu une pelletée de brasque humide, qui la refroidit, et fait que cette loupe se détache plus aisément de la sole. De même, la loupe sortie du creuset reste pendant quelques instans sur la plaque de fonte lorsqu'on la juge un peu crue (faiblement affinée), afin d'augmenter sa consistance et d'éviter qu'elle ne soit brisée par le premier choc du marteau ; dans le cas d'un affinage plus par-

(1) On n'a pas pu trouver la valeur en mesures métriques d'une tonne de charbon. R.

fait, on la porte immédiatement sur l'enclume pour la partager : ce qui s'opère très promptement et avec peu d'effort, en raison de la haute température qu'elle possède. On en fait huit ou dix morceaux cunéiformes, les plans de section passant de la circonférence au centre.

La loupe est regardée comme très affinée (*gaar*) lorsque la partie inférieure est à la chaleur blanche au sortir du creuset ; si elle a la couleur rouge, la loupe est un peu crue (*roh*).

Aussitôt que la loupe est retirée et posée sur l'enclume, on nettoie le creuset ; on donne à la tuyère la direction qu'elle doit avoir, et qui est souvent dérangée lors de la sortie de la masse d'acier ; puis on ramène les charbons rouges, la brasque et les morceaux de scories dans le foyer, que l'on remplit de charbon frais : on y place un des morceaux de la loupe, et l'on donne le vent, d'abord faiblement, pour chauffer et commencer l'étirage. On place en même temps à plat, sur la plaque de haire, et pour les échauffer préa-
mei... lement, les trois morceaux de fonte qui for-
les au... les trois premières charges, tandis que
trevent ; lopins sont disposés du côté du con-
commence..., on place la première mise et l'on
tion précéde...er l'acier fabriqué dans l'opéra-
de loupe au p...ur cela, on met un morceau
l'orifice de la tuy... de l'espace compris entre
manière que sa su... la fonte à liquéfier, de
6 pouces au dessus de ...nférieure se trouve à
l'étirage de ce lopi... s'av...yère ; à mesure que
autre, et ainsi de sui... Ce..., on en... place un
contribuent, par leur position... ceaux de métal
concentrer la

chaleur vers le fond du creuset, et il en résulte, de toute manière, une économie notable de combustible. Le forgeur doit être fort attentif, d'abord à ne pas laisser fondre l'acier et même à ne pas lui faire éprouver une forte chaleur pendant long-temps, puisqu'il y aurait beaucoup de déchet. Il prend également diverses précautions pour le forger, surtout au commencement ; il laisse refroidir un peu le lopin et ne frappe d'abord qu'un petit nombre de coups très faibles ; puis il remet la pièce dans le creuset et la plonge dans les scories qui s'y trouvent alors, afin d'en souder complétement toutes les parties et de la forger en une barre carrée. Le dernier forgeage doit être exécuté aussi rapidement que possible, afin que la barre soit jetée dans l'eau (trempée) étant encore très chaude, et y prenne une grande dureté. On la prend ensuite (la partie la moins affinée, qu'on a toujours distinguée en forgeant, étant placée en dessus) pour l'appuyer sur une enclume et la frapper avec un marteau à main. Lorsque l'acier est fin et dur, il se brise au pr
mier coup comme du verre et sans résondes
d'autres exigent plusieurs coups ; enfin, ilment
barres qui ne se cassent point, et qr conve-
une seconde qualité d'acier, seulecommuns ;
nable pour la fabrication des or Le marteau
la première prend le nom d'*ede* 600 liv.
à forger ne pèse pas plus de nt au plus qua-
Les tuyères en fer forger qu'il s'en trouve
torze jours ; mais il peuière fonte : on donne
hors de service après kal sur le cuivre, parce
la préférence à ce remacer une parte brû-
qu'on peut aisér

lée en en soudant une autre. Une sole ne sert guère, terme moyen, qu'à faire neuf loupes, et comme on emploie huit heures pour chaque opération, ce sont environ trois jours de durée totale.

Lorsqu'on opère sur de bonne fonte à acier, une allure un peu crue (*rohgang*) pendant la formation de la loupe produit de l'acier de bonne qualité et en forte proportion, parce qu'il y a peu de fer de scorifié; mais comme il faut un peu plus de temps, la consommation en charbon augmente, et il peut se faire que l'avantage précédent disparaisse entièrement, et que cette marche de l'opération ne devienne désavantageuse. L'allure opposée, l'affinage rapide (*gaargang*), donne lieu à une moindre dépense de charbon, mais il y a un plus grand déchet sur l'acier; d'ailleurs, celui-ci est toujours plus mêlé de fer, et le produit contient bien plus d'acier de seconde qualité (*mittelkür*).

La loupe est ordinairement du poids de 400 livres environ, et l'on en fait trois en vingt-quatre heures par un bon travail; mais la rapidité de la conversion en acier dépend beaucoup de la nature de la fonte employée : nous avons dit précédemment que celle qui formait le plus promptement de l'acier était produite par un mélange de deux tiers de fer spathique avec un tiers de *braunstein*, d'une structure rayonnée et ayant une bande grise assez épaisse; mais cet acier n'est pas très bon; il reste toujours moins dur que celui qui provient de l'affinage de la fonte blanche lamelleuse, résultat de la fusion des minérais de fer spathique de Müsen.

De 100 parties de fonte, on obtient ordinairement 75 d'acier, dont les deux tiers au moins de première qualité (*edelstahl*), et le reste est le *mittelkür*. Une loupe de 400 liv. donne environ 518 liv. d'acier forgé : ainsi le déchet, dans l'étirage est de 582 liv. ou 20 $\frac{1}{2}$ pour 100 par un bon travail.

La consommation pour 100 liv. d'acier est de 2 $\frac{1}{2}$ tonnes de charbon (1) ; trois ouvriers sont constamment employés au foyer ou au marteau.

Observations sur la manière dont l'acier est formé par l'affinage de la fonte.

On a remarqué depuis long-temps que la fonte produite par certains minérais, principalement par le fer spathique et par quelques espèces de *braunstein* (fer oxidé hydraté, riche et manganésifère), était éminemment propre à la fabrication de l'acier de forge ; tandis que celle obtenue des autres minérais, même dans leur plus grand état de pureté, ne convient nullement à cet usage. L'analyse chimique a montré que les premiers contenaient toujours du manganèse, et on en a conclu que c'était la condition absolue de la formation de l'acier. Plus tard, on a reconnu que, bien que la fonte à acier contienne plusieurs centièmes de manganèse, l'acier lui-même en présente à peine des traces ; ce qui a été vérifié sur celui de Müsen.

---

(1) M. Karsten indique 17 pieds cub. du Rhin ($0^{m.c.}$,425), qui sont vraisemblablement l'équivalent de ce volume : c'est du charbon de bois dur. (T. 4, p. 129 de la deuxième édition.)

Le manganèse ne doit donc pas être considéré comme un des élémens de l'acier, mais bien comme une substance qui exerce une influence utile pendant et sur sa formation; car l'expérience apprend que la fonte dépourvue de ce métal ne produit pas seule de bon acier. On a vu, par la description du procédé de fabrication employé dans le pays de Siegen, qu'une fois le foyer disposé convenablement, on ne travaille plus dans le creuset, mais qu'on se borne à y faire fondre, peu à peu et en proportions déterminées, de la fonte sans remuer jamais les matières : on laisse donc ainsi s'opérer lentement et uniformément la décarburation de la fonte, jusqu'à un certain point où, comme le fait voir l'analyse des produits, le manganèse est passé tout entier dans les scories; ce terme de décarburation est atteint dans la pratique lorsque la fonte liquéfiée dans le creuset, après être restée pendant plus ou moins long-temps dans une grande fluidité, se coagule et forme une masse consistante, à une température où la fonte ordinaire serait complétement liquide. Si l'on n'emploie pas de la fonte blanche lamelleuse à la première charge, c'est que le métal devant se trouver fort éloigné de la tuyère, l'affinage en serait beaucoup plus retardé que celui d'une fonte truitée provenant de minérais qui contiennent peu de manganèse, et qui présente, dans sa cassure fibreuse, des taches grises ou une bande grise : le véritable motif de l'usage, pour les premières charges, de la fonte dite *nebeneisen* est donc l'économie du temps et du combustible, et elle résulte d'une moindre proportion de charbon et

de manganèse contenus ; mais si l'on continuait de s'en servir pour toute la loupe, l'opération se trouverait à la vérité abrégée, mais l'acier obtenu serait mou et mêlé de fer.

Les résultats des analyses de M. Karsten, qui l'ont conduit à considérer la fonte lamelleuse (*spiegeleisen*) comme celle qui renferme le plus de carbone, expliquent la manière dont on procède à la fabrication de l'acier avec cette fonte, et particulièrement le retard qu'éprouve son affinage.

L'expérience se réunit à la théorie, et fait voir que de la fonte blanche compacte (provenant des mêmes minérais qui donnent la fonte lamelleuse), déjà assez impure pour se briser au moment du refroidissement, prend cependant nature, par l'affinage dans le foyer, moins promptement que la fonte dite *nebeneisen*, produite par des minérais pauvres en manganèse ; cependant, la première contient nécessairement moins de charbon que l'autre : il faut donc attribuer cette différence, dans la manière de se comporter, au manganèse combiné avec le fer dans cette première fonte (1), et qui retarde singulièrement l'affinage.

Pour obtenir des données plus certaines à cet égard, j'ai recherché le manganèse dans des portions de métal prises dans le creuset pendant la

(1) On peut admettre qu'elle renferme 4 pour 100 de charbon et 3,74 de manganèse lorsqu'elle tient le milieu entre la fonte lamelleuse et celle caverneuse (*luckige*). La fonte dite *nebeneisen*, intermédiaire entre celle pure et impure, ayant des taches grises, renferme plus de carbone que les précédentes, et seulement 1,87 de manganèse.

formation de l'acier, et entre la première et la quatrième charge, au moment où elles prennent nature. Une portion de la seconde, qui, après refroidissement, montra une cassure blanche et caverneuse, et qui était encore éloignée de la nature de l'acier, contenant encore plus de charbon qu'il n'en avait été séparé, offrit seulement $\frac{1}{2}$ pour 100 de manganèse; à la quatrième charge, on en trouva $\frac{1}{4}$ pour 100, et l'acier achevé n'en contenait qu'une trace. Comme on ne peut admettre plus d'un centième de charbon dans l'acier de forge (*rohstahl*), et que le manganèse est déjà séparé lorsque le charbon est loin d'être réduit à cette quantité, il est à croire qu'il est scorifié par le vent de la tuyère pendant que le métal est encore liquide; de sorte que l'oxigène agit de préférence sur lui que sur le charbon: de là vient que la séparation du charbon, sa combustion, est d'autant plus difficile et plus longue à opérer que la fonte contient plus de manganèse : celle-ci doit donc demeurer plus long-temps fluide dans le creuset lorsqu'elle est de l'espèce blanche lamelleuse, que lorsqu'il s'agit de la fonte peu manganésifère, dite *nebeneisen*, qui renferme plus de charbon que la précédente. Quand l'affinage a commencé, et que le manganèse est réduit à $\frac{1}{4}$ pour 100, la décarburation de la fonte va plus vite, et l'on reconnaît bientôt l'utilité d'une nouvelle charge de fonte pour redissoudre la masse déjà affinée.

Le retard que l'on fait éprouver à l'opération, en fondant successivement diverses charges, n'a pas seulement pour but de produire une lente et uniforme décarburation, au moyen du vent de la

tuyère, qui vient à la vérité frapper directement sur le morceau de fonte formant la charge, mais se réfléchit aussi contre les charbons supérieurs, et pénètre dans l'intérieur; il produit aussi la séparation du manganèse : ainsi, à l'état fluide, la fonte est décarburée jusqu'à un certain terme, et de plus elle éprouve une purification. On sait que le but de l'affinage ordinaire est la scorification et la séparation des substances étrangères au fer, et principalement du silicium, qui diminue la ténacité du fer sans en changer la dureté. Il paraît que les fontes manganésiées contiennent peu de silicium par comparaison aux autres, qui en offrent souvent de 1 à 3 pour 100; le manganèse semble donc en tenir la place dans les fontes blanches lamelleuses; mais, dans l'affinage pour acier, ce métal est séparé en totalité sans que la proportion du silicium soit diminuée; car on en trouve toujours dans l'acier de 0,5 à 0,8 pour 100.

De cette observation, on peut conclure que les fontes provenant des minérais manganésifères sont plus propres que les autres à la fabrication de l'acier, particulièrement parce qu'ils ne renferment que très peu de silicium, et que le manganèse qui s'y trouve peut en être séparé facilement à l'affinage sans employer un vent très plongeant : c'est pour cela que l'acier de cette contrée est un des plus purs, et consiste presque uniquement en fer et charbon.

Si l'on faisait usage d'une fonte peu ou point manganésiée, mais qui contiendrait alors une grande quantité de silicium, cette dernière substance ne serait séparée qu'en partie par la fusion,

et en raison de ce que la tuyère ne peut être placée d'une manière plongeante, pour ne pas trop décarburer le métal. En effet, l'expérience montre que l'affinage, dit puddlage, est insuffisant pour séparer complétement le silicium de la fonte, qui a cependant déjà été purifiée par sa conversion en fine-métal.

Si, à partir de la troisième charge et au lieu de fonte blanche lamelleuse, on emploie de la fonte grise très manganésifère, qui ne contient pas d'ailleurs sensiblement de silicium (1), comme est celle produite par le mélange convenable pour donner la fonte précédente, mais dans le cas où les laitiers demeurent épais et tenaces, l'opération est singulièrement retardée, tant parce qu'il y a 7 pour 100 de manganèse à séparer au lieu de 4,49, que parce que la décarburation est devenue plus difficile ; enfin, on obtient une plus grande quantité d'acier qu'avec la fonte lamelleuse, parce que l'oxigène de l'air projeté se porte sur le manganèse de préférence au fer. Cet acier de fonte grise manganésiée se laisse d'ailleurs aussi bien forger que celui fait avec de la fonte blanche lamelleuse ; mais sa dureté est un peu moindre. La consommation en charbon étant toujours plus forte, on ne l'emploie que lorsqu'on manque de fonte lamelleuse.

Il n'y a pas de doute que la préférence donnée à cette dernière, en suivant le procédé de

---

(1) M. Karsten a indiqué une fonte de cette espèce contenant 7,42 pour 100 de manganèse, 1,31 de silicium et 4,45 de charbon.

Siegen, ne dépende de ce qu'elle prend une grande fluidité dans le creuset, propriété due à ce qu'elle contient beaucoup de charbon et de manganèse; cette liquidité parfaite facilite la dissolution de la masse aciéreuse déjà formée, le carbone se distribue d'une manière uniforme, et, en définitive, la décarburation du métal s'opère au degré convenable pour constituer l'acier.

MÉMOIRE

Sur l'écoulement des fluides élastiques dans les vases et les tuyaux de conduite ;

Par M. NAVIER.

Lu à l'Académie royale des Sciences, le 1er. juin 1829.

---

1. Quoique la théorie générale du mouvement des fluides soit encore fort imparfaite, puisque les équations différentielles par le moyen desquelles les géomètres ont exprimé les conditions de ce mouvement n'ont jusqu'à présent été intégrées que dans un très petit nombre de cas particuliers, il existe néanmoins des formules et des règles, appuyées en grande partie sur des recherches expérimentales, qui peuvent servir à déterminer avec une exactitude suffisante les circonstances de l'écoulement des fluides incompressibles, pour les principaux cas qui se rencontrent dans les applications. Ces formules ont été surtout obtenues au moyen de ce qu'on nomme l'*hypothèse des parallélismes des tranches*, établie par Daniel Bernouilly, et dont ce célèbre géomètre a fait, aussi bien que d'Alembert, de nombreuses applications. En employant convenablement cette hypothèse, on parvient à des résultats sensiblement conformes à l'expérience, soit pour l'évaluation des quantités de fluides écoulées dans des temps donnés, soit pour l'évaluation des pressions qui ont lieu dans les diverses parties du fluide, toutes les fois que la longueur des vases n'étant pas très grande par

rapport à la largeur, l'adhésion du fluide aux parois influe peu sur la nature du mouvement. Lagrange a d'ailleurs remarqué que l'hypothèse dont il s'agit donnait une première approximation, et que l'emploi que l'on en faisait supposait seulement que l'on négligeait les quantités très petites du second ordre, les largeurs du vase étant regardées comme très petites du premier ordre.

La connaissance des lois du mouvement des fluides élastiques, quoique moins importante et d'une application moins fréquente que celle des lois du mouvement des liquides, est toutefois très digne d'intérêt. Elle pourrait surtout devenir fort utile pour guider l'établissement des conduites des gaz servant à l'éclairage, ou de l'air condensé par les machines soufflantes dans les travaux d'exploitation des mines. Il n'existe encore sur ce sujet que des notions très imparfaites, auxquelles les travaux récens de plusieurs habiles ingénieurs permettent d'en substituer de plus exactes. On a pensé qu'il pouvait être utile d'appliquer à ces questions l'hypothèse du parallélisme des tranches. Mais pour écarter les principales difficultés de cette recherche, on admettra en général que le fluide s'écoule hors d'un réservoir ou gazomètre dans lequel la pression est maintenue constante, et que le mouvement de ce fluide est parvenu à l'uniformité; c'est à dire que la vitesse et la pression demeurent constamment les mêmes dans chaque partie du vase ou tuyau parcouru par le fluide. De plus, on supposera la température uniforme et constante dans toute l'étendue du fluide.

Avant d'exposer les résultats auxquels on est

parvenu, il convient de rappeler succinctement les formules par le moyen desquelles on évalue communément le produit de l'écoulement des fluides élastiques.

Notions adoptées communément sur l'écoulement des fluides élastiques.

2. Daniel Bernouilly a traité dans son *Hydrodynamica*, page 224 et suiv., diverses questions relatives à l'écoulement d'un fluide élastique d'un vase dans un autre par un orifice très petit. La manière dont ce célèbre géomètre a envisagé ces questions consiste à supposer que le fluide est en repos dans l'intérieur du vase, que la pression est constante dans toute l'étendue de ce vase, et que les molécules qui traversent l'orifice prennent la vitesse due à l'excès de la pression intérieure sur la pression extérieure, comme cela aurait lieu dans le cas de l'écoulement d'un fluide incompressible. D'après cela, si l'on désigne par

P la pression qui a lieu dans l'intérieur du vase, exprimée en unité de poids, et rapportée à l'unité de surface;
P' la pression qui a lieu à l'extérieur;
R la densité du fluide, ou la masse de l'unité de volume, sous la pression P;
g la vitesse que la gravité imprime aux corps pesans dans l'unité de temps;
U la vitesse du fluide au passage de l'orifice;
on a, d'après les formules connues,

$$U = \sqrt{\frac{2(P - P')}{R}}, \text{ ou bien } U = \sqrt{2g\frac{P - P'}{Rg}} \quad (1).$$

Supposons maintenant que le fluide s'écoule dans l'air atmosphérique, en sortant d'un vase où il a été condensé; et soient

h la hauteur d'une colonne d'un liquide quelconque, qui mesure la pression atmosphérique ;
H la hauteur d'une colonne du même liquide, qui mesure l'excès de la pression qui a lieu dans le vase sur la pression atmosphérique;
π le poids de l'unité de volume de ce liquide;
Π le poids de l'unité de volume du fluide élastique qui s'écoule, supposé à la température 0° du thermomètre centigrade, sous la pression mesurée par une colonne de liquide de la hauteur n;
v la température actuelle, observée sur le thermomètre centigrade :
on aura d'abord

$$P = \pi(h + H), \quad P' = \pi h;$$

et de plus, d'après les lois connues de la dilatation des gaz, le poids Rg de l'unité de volume du fluide qui est contenu dans le vase sera

$$Rg = \Pi \frac{h + H}{n} \cdot \frac{1}{1 + 0{,}00375 \, . \, v} \, . \qquad (2)$$

Ces valeurs, étant substituées dans l'équation (1), donnent

$$U = \sqrt{2gn \cdot \frac{\pi}{\Pi}} \cdot \sqrt{\frac{(1 + 0{,}00375 \, . \, v)H}{h + H}} . \qquad (3)$$

Si l'on prend la seconde sexagésimale pour l'unité de temps, le mètre pour l'unité de longueur, le kilogramme pour l'unité de poids, et si

les pressions sont mesurées par des colonnes de mercure, on aura $g = 9^{m},8088$, $\pi = 13568^{k}$. Si l'on suppose de plus qu'il s'agit de l'air atmosphérique, comme l'on sait que le mètre cube de ce fluide pèse $1^{k},3$ à la température 0° sous la pression barométrique de $0^{m},76$, on aura encore $\Pi = 1^{k},3$, $n = 0^{m},76$. En substituant ces valeurs dans l'équation (3), elle deviendra

$$U = 394,5 \cdot \sqrt{\frac{(1 + 0,00375 \cdot v)\,H}{h + H}}. \qquad (4)$$

Cette expression, étant multipliée par l'aire de l'orifice, donnera le volume de fluide écoulé dans l'unité de temps, volume qui est censé mesuré sous la pression P correspondante à la hauteur $h + H$, qui a lieu dans le vase hors duquel l'air s'écoule. Les formules (1), (3) et (4) sont considérées d'ailleurs comme étant propres à donner ce qu'on est convenu d'appeler *la dépense théorique* ou *naturelle*, c'est à dire la dépense qui aurait lieu si les filets de fluides, en franchissant l'orifice, avaient tous des directions perpendiculaires au plan de cet orifice, et si le mouvement n'était altéré par aucun effet de frottement et d'adhérence. On doit appliquer à ces formules, en raison des diverses figures de la paroi près de l'orifice, des corrections analogues à celles qui ont lieu dans le cas de l'écoulement des liquides, et que l'expérience seule peut faire connaître avec exactitude.

Les questions relatives à l'écoulement des fluides élastiques ont été traitées par d'Alembert, d'après des hypothèses analogues à celles de Daniel Bernouilly, comme on peut le voir dans

le *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides*, livre II, chap. IV. Ces solutions ont été depuis reproduites dans l'*Hydrodynamique* de Bossut, aussi bien que dans d'autres ouvrages, et sont généralement adoptées.

3. On peut remarquer, à ce sujet, 1°. que l'hypothèse d'une vitesse nulle et d'une pression uniforme dans l'intérieur du vase ne peut véritablement convenir qu'au cas d'un orifice fort petit, ouvert dans la paroi d'un grand vase. Elle sera trop éloignée des effets naturels, toutes les fois qu'avant de parvenir à l'orifice le fluide devra parcourir une portion de vase ou de tuyau dont les dimensions transversales ne seront pas extrêmement grandes par rapport à celles de l'orifice.

2°. Que l'on paraît encore s'écarter beaucoup des effets naturels en supposant que la tranche de fluide qui franchit l'orifice a la densité correspondante à la pression représentée ci-dessus par P, qui subsiste dans l'intérieur du vase. Dans la théorie ordinaire de l'écoulement des liquides, on suppose que la tranche qui franchit l'orifice supporte la pression extérieure représentée par P'. Par conséquent il paraît naturel d'admettre ici que la tranche de fluide élastique qui s'échappe dans l'atmosphère n'a que la densité correspondante à la pression atmosphérique P'. En général, on ne peut douter qu'en s'écoulant hors d'un vase, le fluide élastique ne passe progressivement de la pression intérieure P à la pression extérieure P'; et par conséquent aussi de la densité qui correspond à la première pression, à la densité qui correspond à la seconde. Il est donc nécessaire d'avoir égard à cette variation dans la

densité, pour établir convenablement les lois de l'écoulement.

Théorie de l'écoulement d'un fluide élastique dans un vase ou un tuyau, dans l'hypothèse du parallélisme des tranches (1).

4. Comme on l'a dit ci-dessus, on considère le mouvement du fluide lorsqu'il est parvenu à un état d'uniformité, dont l'existence peut être regardée comme un fait établi par l'observation, et qui consiste en ce que la vitesse et la pression demeurent constamment les mêmes dans chaque partie du vase. Cet état d'uniformité peut résulter, ou de ce qu'une source de fluide élastique remplace constamment dans le réservoir la masse de fluide qui s'écoule par l'orifice, ou bien de ce que l'on diminue progressivement la capacité du réservoir, de manière à compenser la perte de fluide qui a lieu par l'orifice, et à maintenir constant l'excès de pression intérieure sur la pression extérieure. D'après cela, on supposera un vase ABCD (*fig.* 1, Pl. XIII), où la grandeur des sections transversales ne varie d'un point à l'autre que par degrés insensibles, dont l'axe MN est horizontal (ce qui permet de négliger l'influence de la gravité sur le mouvement des tranches), et que l'on peut regarder comme un prolongement du gazomètre. On admettra que, par la manière dont le fluide se renouvelle, ou dont le volume du gazomètre est diminué, la pression est maintenue constante dans la section AB, qui sera regardée comme la première section du vase ou

(1) La substance de ce paragraphe a déjà été publiée en partie dans les *Ann. de chimie et de physique*, avril 1827.

tuyau dans lequel il s'agit de reconnaître les lois du mouvement du fluide. La section CD forme l'autre extrémité de ce tuyau, et la pression est aussi supposée constante à cette dernière section. L'écoulement du fluide, qui s'opère dans le sens MN, est le résultat de l'excès de la pression intérieure qui a lieu dans la section AB, sur la pression extérieure qui a lieu dans la section CD. On nommera

Ω l'aire de la section AB;
Ω' l'aire de la section extrême CD, qui est l'orifice d'écoulement;
ω l'aire d'une section quelconque intermédiaire $\alpha\beta$, faite dans le vase perpendiculairement à l'axe MN;
x la distance $M\mu$ de la section $\alpha\beta$ à la section AB;
u la vitesse de la tranche de fluide placée en $\alpha\beta$;
U la vitesse de la tranche de fluide qui franchit la section CD;
P, P′, p les pressions qui ont lieu respectivement dans les sections AB, CD et $\alpha\beta$;
ρ la masse de l'unité de volume, ou la densité du fluide qui a lieu dans la section $\alpha\beta$;
t le temps écoulé.

Nota. On remarquera que l'on a $p = k\rho$, en désignant par k un nombre constant lorsque la température est constante (1).

(1) La valeur du nombre k, ou du rapport constant de la pression à la masse de l'unité de volume du fluide, se calcule facilement, en remarquant que l'équation (2) du n°. 2 peut s'écrire

$$Rg = \Pi \frac{P}{\pi n} \cdot \frac{1}{1 + 0{,}00375 \cdot v},$$

Cela posé, l'hypothèse du parallélisme des tranches consiste, comme l'on sait, en ce que le fluide contenu dans le vase étant supposé partagé en tranches infiniment minces par des plans perpendiculaires à l'axe MN, toutes les molécules contenues dans chaque tranche sont supposées animées de vitesses égales, et supporter des pressions égales. On admet de plus que toutes ces tranches contiennent des masses égales de fluide ; en sorte que la même masse de fluide qui a formé la première tranche en AB formera successivement toutes les autres tranches quand elle passera de la section AB à la section extrême CD. On obtiendra l'équation du mouvement de la tranche quelconque placée en $\alpha\beta$ en remarquant que la masse de cette tranche est $\rho . \omega d x$, la force à laquelle est dû son mouvement $\rho . \omega\, d\, x . \frac{d u}{d t}$, et la force à laquelle elle est soumise, par l'effet des actions mutuelles des tranches, $-\omega d p$. On a donc

$$-\omega d p = \rho \omega d x \frac{d u}{d t};$$

---

d'où l'on déduit

$$\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{R}} = k = \frac{g \pi n\,(1 + 0{,}00375 . v)}{\Pi}.$$

Adoptant les unités indiquées dans ce numéro, et supposant toujours qu'il s'agit de l'air atmosphérique, cette formule devient

$$k = 77805\,(1 + 0{,}00375 . v).$$

Pour les autres fluides élastiques, les valeurs de k varieront réciproquement aux pesanteurs spécifiques de ces fluides.

ou, parce que $p = k\rho$,

$$-k\frac{dp}{p} = dx\frac{du}{dt}. \qquad (5)$$

Pour intégrer cette équation, il faut remarquer que le mouvement du fluide étant supposé uniforme, la même masse doit passer en même temps dans toutes les sections transversales : en sorte que la quantité $\rho\,\omega\,u$, et par conséquent $p\,\omega\,u$, conserve pour toutes les sections une valeur constante. On a donc $p\,\omega\,u = \mathrm{P}'\,\Omega'\,\mathrm{U}$: d'où

$$u = \frac{\mathrm{P}'\,\Omega'\,\mathrm{U}}{p\omega}, \text{ et } \frac{du}{dt} = -\frac{\mathrm{P}'\Omega'\,\mathrm{U}}{p^2\omega^2}\,\frac{d(p\omega)}{dx}\,\frac{dx}{dt}, \quad (6)$$

puisque U est constante, et que p et ω varient seules par l'effet du changement de la position de la tranche. Substituant cette valeur dans l'équation (5), où l'on remplacera $\frac{dx}{dt}$ par u, ou $\frac{\mathrm{P}'\Omega'\mathrm{U}}{p\,\omega}$, cette équation se changera en

$$k\frac{dp}{p} = \mathrm{P}'^2\Omega'^2\mathrm{U}^2\frac{d(p\omega)}{p^3\,\omega^3}.$$

L'intégration peut maintenant être effectuée, et donne

$$2\,k\log.\,p = -\,\mathrm{U}^2\frac{\mathrm{P}'^2\Omega'^2}{p^2\,\omega^2} + const.$$

La constante se détermine en remarquant que l'on a, dans la première section AB, $\omega = \Omega$, $p = \mathrm{P}$; ce qui donne

$$2\,k\log.\,\frac{\mathrm{P}}{p} = \mathrm{U}^2\left(\frac{\mathrm{P}'^2\,\Omega'^2}{p^2\,\omega^2} - \frac{\mathrm{P}'^2\,\Omega'^2}{\mathrm{P}^2\,\Omega^2}\right); \quad (7)$$

et comme, à la dernière section CD, on a $\omega = \Omega'$, $p = P'$, cette équation devient

$$2k \log. \frac{P}{P'} = U^2 \left(1 - \frac{P'^2 \; \Omega'^2}{P^2 \; \Omega^2}\right):$$

d'où l'on déduit, pour la valeur de la vitesse à l'orifice d'écoulement CD,

$$U = \sqrt{\frac{2k \log. \frac{P}{P'}}{1 - \frac{P'^2 \; \Omega'^2}{P^2 \; \Omega^2}}}. \qquad (8)$$

Si l'on suppose cet orifice évasé, c'est à dire si l'on admet que la figure de la paroi est telle que tous les filets de fluide qui franchissent la section CD ont des directions parallèles à l'axe MN, ou perpendiculaires au plan de cette section, on aura le volume de fluide qui sort du vase dans l'unité de temps en multipliant l'expression précédente de U par l'aire Ω' de l'orifice. Ce volume sera censé pris sous la pression P′ qui a lieu dans la section CD. Mais si, comme cela se fait ordinairement, on veut estimer le volume de fluide qui s'écoule dans l'unité de temps, en considérant ce fluide sous la pression P qui a lieu dans le gazomètre, il faudra multiplier l'expression précédente par Ω' et par le rapport $\frac{P'}{P}$. Le volume dont il s'agit est donc exprimé par

$$\frac{P' \, \Omega'}{P} \sqrt{\frac{2k \log. \frac{P}{P'}}{1 - \frac{P'^2 \; \Omega'^2}{P^2 \; \Omega^2}}}. \qquad (9)$$

5. Les formules (8) et (9) sont propres à donner la vitesse du fluide à l'orifice, et la quantité de l'écoulement, lorsque cet écoulement a lieu par un orifice ouvert dans la paroi d'un vase. On peut remarquer que ces formules donneraient des résultats infinis ou imaginaires, si l'on avait $P'\Omega' =$ ou $> P\Omega$. Cette circonstance indique que l'existence d'un écoulement uniforme, tel qu'on le suppose ici, exige essentiellement que l'aire Ω' de la section extrême soit $< \frac{P\Omega}{P'}$. Cette condition est analogue à ce qui a lieu pour les fluides incompressibles, où l'existence d'un écoulement uniforme suppose que la section inférieure, par laquelle le fluide sort du vase, soit moindre que la section supérieure, par laquelle le fluide entre dans ce vase. Si la section extrême Ω' était tellement grande que la condition dont il s'agit ne fût pas satisfaite, la veine de fluide sortirait du réservoir sans remplir en entier cette section, et les circonstances du mouvement ne seraient plus représentées par les formules précédentes.

6. Si l'orifice d'écoulement CD est supposé très petit par rapport à la section AB du gazomètre, l'expression (8) de la vitesse d'écoulement se réduit à

$$U = \sqrt{2k \log. \frac{P}{P'}}; \qquad (10)$$

et l'expression (9) du volume de fluide qui s'est écoulé dans l'unité de temps, mesuré sous la pression qui a lieu dans le gazomètre, à

$$\frac{P'\Omega'}{P}\sqrt{2k \log. \frac{P}{P'}}. \qquad (11)$$

7. Il est utile de rapprocher les résultats précédens de ceux qui sont admis communément. D'après ce qui a été dit no. 2, on regarde la vitesse à l'orifice d'écoulement comme étant représentée par l'expression (1), qui peut s'écrire

$$U=\sqrt{\frac{2P}{R}\cdot\frac{P-P'}{P}},\ \text{ou}\ U=\sqrt{2k.\frac{P-P'}{P}}.$$

Mais l'on a $\frac{P}{P'}=1+\frac{P-P'}{P'}$; et par conséquent, si P surpasse très peu P′, $\log.\frac{P}{P'}=\frac{P-P'}{P'}$, à fort peu près. Donc les formules (1) et (10) s'accordent à très peu près quand la différence des pressions intérieure et extérieure est fort petite par rapport à ces pressions. Lorsque cette circonstance n'a pas lieu, la formule (1) donne une valeur trop grande pour U, et comme, pour évaluer le volume de fluide qui est sorti du gazomètre dans l'unité de temps, on multiplie cette valeur par Ω', tandis qu'il faudrait la multiplier par la quantité moindre $\frac{P'\Omega'}{P}$, on commet ainsi deux erreurs dans le même sens, dont les effets s'ajoutent. Cependant, dans la plupart des expériences connues, la quantité $\frac{P-P'}{P'}$ était en général fort petite, et la formule (1) a pu paraître s'accorder avec les effets naturels.

8. Si l'on substitue dans l'équation (7) l'expression (8) de U, cette équation devient

$$\frac{\log.\frac{P}{p}}{\log.\frac{P}{P'}}=\frac{\frac{P^2\,\Omega^2}{p^2\,\omega^2}-1}{\frac{P^2\,\Omega^2}{P'^2\,\Omega'^2}-1}\,; \qquad (12)$$

et l'on peut en déduire la valeur de la pression p, qui a lieu dans une section donnée du tuyau, dont l'aire est représentée par ω.

Lorsque l'orifice d'écoulement CD est très petit par rapport à la section AB du gazomètre, l'équation précédente se réduit à

$$\frac{\log.\frac{P}{p}}{\log.\frac{P}{P'}}=\frac{\frac{P^2\,\Omega^2}{p^2\,\omega^2}-1}{\frac{P^2\,\Omega^2}{P'^2\,\Omega'^2}} \qquad (13)$$

Pour se rendre compte de la manière la plus simple des indications données par ces équations relativement aux valeurs de la pression, on résoudra l'équation (12) par rapport à la quantité ω^2, et l'on trouvera

$$\omega^2=\frac{P^2\,\Omega^2}{p^2}\cdot\frac{1}{1+\left(\frac{P^2\,\Omega^2}{P'^2\,\Omega'^2}-1\right)\frac{\log.\frac{P}{p}}{\log.\frac{P}{P'}}}. \qquad (14)$$

Construisons maintenant, au moyen de cette équation, la courbe dont p serait l'abscisse et dont ω serait l'ordonnée. On verra facilement que cette courbe, dans laquelle les ordonnées Ω et Ω' correspondent, comme cela doit être, aux abscisses P et P', présente la forme indiquée dans les *fig.* 2 et 3. L'ordonnée correspondante à $p=0$

est infinie ; cette ordonnée prend ensuite des valeurs de moins en moins grandes, jusqu'à un point de minimum, dont l'abscisse p_1 peut être moindre que P' (*fig.* 2), ou plus grande que P' (*fig.* 3). L'ordonnée croît ensuite, et devient de nouveau infinie lorsque l'on donne à p une valeur oQ, plus grande que P, et telle qu'elle rend la quantité $\left(\frac{P^2\Omega}{P'^2\Omega'^2}-1\right)\frac{\log.\frac{P}{p}}{\log.\frac{P}{P'}}$ égale à -1;

en sorte que la parallèle à l'axe des ω menée par le point Q est une seconde asymptote de la courbe. Cette courbe étant construite, on connaîtra la pression p, qui aura lieu dans une section donnée ω du vase, en traçant une parallèle à l'axe o p, à la distance ω de cet axe, et prenant la valeur de l'abscisse du point d'intersection de cette parallèle avec la courbe.

Si l'on veut déterminer la position du point de minimum, on égalera à zéro la différentielle du second membre de l'équation (14) ; ce qui donnera

$$\log.\frac{P}{p}=\frac{1}{2}-\frac{\log.\frac{P}{P'}}{\frac{P^2\Omega^2}{P'^2\Omega'^2}-1}. \qquad (15)$$

La valeur de p déduite de cette équation, que nous désignons par p_1, sera l'abscisse du point dont il s'agit ; et si l'on substitue cette valeur dans l'équation (14), la valeur correspondante de ω, que nous désignons par ω_1, sera la valeur minimum cherchée de l'ordonnée de la courbe.

Il peut arriver que le point de minimum ait P' et Ω' pour abscisse et pour ordonnée. Cette circonstance aura lieu si l'équation (15) est satisfaite par la valeur $p = P'$. En faisant $p = P'$ dans cette équation, elle devient

$$\frac{P^2 \Omega^2}{P'^2 \Omega'^2} \cdot \log. \frac{P}{P'} = \frac{1}{2}, \qquad (16)$$

en sorte que cette dernière équation indique les relations qui doivent subsister entre les quantités P, P', Ω, Ω' pour que Ω' soit la plus petite valeur que puisse prendre l'ordonnée ω. Si le premier membre de l'équation (16) est $< \frac{1}{2}$, on se trouvera dans le cas de la *fig.* 2, où p_1 est $< P'$. Si au contraire le premier membre de cette équation est $> \frac{1}{2}$, on se trouvera dans le cas de la *fig.* 3, où p_1 est $> P'$.

9. Cela posé, considérons d'abord un tuyau tel que celui qui est représenté *fig.* 1, dans lequel la section décroît successivement de AB en CD. Si les relations entre les quantités P, P', Ω, Ω' sont telles que l'on soit dans le cas de la *fig.* 2, on cherchera les pressions correspondantes aux diverses sections en descendant le long de la courbe du point M au point M' : ainsi il est évident que la pression décroîtra aussi progressivement de la valeur P qui a lieu en AB à la valeur P' qui a lieu entre CD. Mais si l'on est dans le cas de la *fig.* 3, en voulant descendre le long de la courbe du point M au point M', on rencontrera avant d'y parvenir un point M'' pour lequel l'ordonnée ω sera égale à Ω', aussi bien que celle du point M', et dont l'abscisse P'' est $>$ P'. Il faut donc admettre alors que la pression, après avoir diminué progressivement, depuis AB

jusque en CD, de la valeur P à la valeur P'', passe brusquement, dans la section CD même, de la valeur P'' à la valeur P', qui a lieu à l'extérieur. Il est à remarquer que ce dernier cas aura lieu principalement lorsque l'orifice d'écoulement sera fort petit, ou lorsque la pression extérieure P' sera fort petite par rapport à la pression intérieure P.

Considérons maintenant un tuyau tel que celui qui est représenté *fig.* 4, dans lequel la section décroît progressivement de A B en E F, où elle est moindre que l'orifice d'écoulement C D, puis croît de nouveau progressivement de E F en C D. D'après ce qu'on a vu ci-dessus, si l'on attribuait à ω une valeur moindre que ω_{1}, l'équation (12) ne donnerait aucune valeur correspondante pour p. Cela indique qu'il n'est pas possible de diminuer la section E F de l'étranglement au dessous d'une limite fixée par la valeur minimum ω_{1}, si l'on veut que les circonstances du mouvement du fluide continuent à être représentées par les formules précédentes. Autrement, ces formules ne donnant aucun résultat, on est averti que le fluide sortirait du vase sans remplir la section extrême C D, comme ces formules le supposent : ce serait alors la section EF qui deviendrait l'orifice d'écoulement. Admettons donc que l'on ait donné à la plus petite section E F de l'étranglement une valeur comprise entre Ω' et ω_{1}. En supposant d'abord que l'on soit dans le cas de la *fig.* 2, la section EF répondra sur la courbe à un point m compris entre M′ et le point de minimum. Par conséquent, pour trouver les pressions correspondantes aux diverses sections du vase, on descendra d'abord du point M au point m,

puis on remontera du point m au point M′ : d'où l'on conclut que la pression, dans la section EF, sera moindre que la pression extérieure P′. En supposant ensuite que l'on soit dans le cas de la *fig.* 3, il faudra, pour trouver les pressions correspondantes aux diverses sections, descendre d'abord du point M au point m, qui répond à la section EF, puis passer immédiatement de ce point au point n, qui a la même ordonnée, mais une abscisse plus petite, et enfin du point n au point M′ correspondant à la section extrême. On en conclut que, dans l'étranglement EF, la pression se soutient ici au dessus de la pression extérieure P′, mais que cette pression y passe brusquement de la valeur donnée par l'abscisse du point m à la valeur donnée par l'abscisse du point n. Ce changement brusque dans la valeur de la pression en suppose un dans la valeur de la vitesse des tranches, et par conséquent une perte de force vive. Ainsi on est obligé d'admettre qu'il peut y avoir perte de force vive dans le mouvement d'un fluide élastique, lors même que la grandeur des sections du vase ne varie que par degrés insensibles. Dans un cas tel que celui dont il s'agit, les conditions du mouvement du fluide ne seraient pas exprimées exactement par les formules précédentes : il faudrait avoir égard à l'existence de la perte de force vive au passage de la section EF, et établir l'équation du mouvement du fluide en conséquence, comme on le verra dans les articles suivans.

Considérons encore le tuyau représenté *fig.* 5, dans lequel la section décroît progressivement de AB en EF, où elle est moindre que l'orifice d'écoulement CD; puis croît de EF en GH, où

elle est plus grande que CD; et enfin décroît progressivement de GH en CD. Il sera nécessaire, aussi bien que dans le cas précédent, que la plus petite section EF de l'étranglement ne soit pas au dessous de la valeur minimum ω_1. Cette condition étant supposée remplie, on verra, comme ci-dessus, que, si l'on est dans le cas de la *fig.* 2, la pression sera en EF moindre que la pression extérieure P'; mais elle reprendra en GH des valeurs plus grandes que cette pression extérieure, et égales à celles qu'elle présentait, à section égale, dans l'intervalle ABFE. Au contraire, si l'on est dans le cas de la *fig.* 3, la pression sera en EF plus grande que la pression extérieure P'; mais, après avoir subi dans cet endroit un changement brusque (à moins que la section EF ne soit précisément égale à la limite ω_1), la pression intérieure deviendra plus petite que la pression extérieure P', dans toutes les parties de l'espace EGCDHF, où l'aire des sections transversales surpassera celle de la section extrême CD.

On voit, d'après ce qui précède, que, par l'effet de l'écoulement d'un fluide élastique dans un vase ou tuyau, la pression intérieure peut devenir moindre que la pression extérieure du milieu dans lequel le fluide s'écoule, dans deux cas, savoir : lorsqu'il y a un étranglement, ou lorsqu'il y a un renflement précédé d'un étranglement. Mais l'existence d'un étranglement ou d'un renflement semblable n'emporte pas la nécessité que la pression y soit moindre que la pression extérieure : elle le sera ou non suivant les rapports des pressions et des sections extrêmes.

Il est nécessaire de ne point oublier d'ailleurs que les résultats précédens étant fondés sur l'hy-

pothese du parallelisme des tranches, l'erreur de cette hypothese peut apporter quelques différences entre ces résultats et les effets naturels.

De l'écoulement de l'air par un orifice ouvert dans une paroi plane et mince.

10. Les formules (9) ou (11) peuvent être employées au calcul des volumes d'air qui s'écoulent par les orifices des vases, toutes les fois que la figure de la paroi près de l'orifice sera telle que tous les filets de fluide y soient dirigés suivant des lignes parallèles entre elles, et perpendiculaires au plan de cet orifice. Il y a tout lieu de croire que les effets naturels différeront très peu, dans ce cas, des résultats du calcul, et seulement par suite de petites résistances dues au frottement du fluide sur la paroi du vase. Mais si l'orifice est formé dans une paroi plane, quoique l'on doive toujours penser que la vitesse au passage de cet orifice est, pour tous les filets du fluide, représentée par les formules (8) ou (10), il résulte de l'obliquité des directions de la plupart de ces filets sur le plan de l'orifice, que la dépense de fluide ne peut plus être calculée par les formules (9) ou (11). La veine du fluide doit se contracter ici après avoir franchi l'orifice, comme dans le cas des liquides : c'est à la section de plus grande contraction que ces formules pourraient s'appliquer avec exactitude ; et si on veut les appliquer à l'orifice même, il faut les multiplier par un certain coefficient fractionnaire, que nous désignerons par m.

Le principal objet des expériences que l'on pourrait faire sur le mode d'écoulement dont il s'agit est la détermination du rapport m. Nous

nous dispenserons ici de faire mention de plusieurs observations isolées, ou rapportées d'une manière incomplète, que l'on trouve dans divers ouvrages. Parmi les expériences connues, celles de M. Lagerhjelm (1) paraissent les plus propres à conduire à cette détermination. Le tableau suivant a été formé d'après les résultats de ces expériences, faites sur des orifices circulaires ouverts dans une plaque mince de cuivre.

Diamètre de l'orifice.	Pression inté-rieure.	Hauteur du baro-mètre.	Tempér. de l'air.	Durée de l'é-coulem.	Volume d'air écoulé.	Valeur du rapport *m*.
Pieds.	Pieds	Pieds.	Deg. cent.	Secondes.	Pieds cub.	
0,1122	1,616	2,545	16	4,5	7,5859	0,6097
	1,209		17	5,25	8,8919	0,6972
	0,5555		16	7,5	7,6547	0,6063
	0,1919		18	13,25	8,086	0,6103
0,080617	1,616	2,305	17	9	8,0819	0,6013
	1,217			10,5	8,037	0,5804
	0,5555		15	15	7,9251	0,5805
	0,2121	2,508	17,5	23,5	8,6635	0,6854
0,041346	1,6059	2,536	20	32	7,3881	0,6098
	1,212		19,5	36,2	7,244	0,6029
	0,5555	2,540	10,5	51,2	6,8875	8,5933
	0,1969			82	6,6251	0,6018

(1) Les expériences de M. Lagerhjelm ont été publiées dans les *Mémoires de l'Académie de Stockholm*. Une traduction française, présentée à l'Académie des sciences en 1822, et sur laquelle M. Girard a fait un rapport, a été imprimée dans le *Journal du génie civil*, 7e. livraison, 1829.

La deuxième colonne, intitulée *pression intérieure*, donne la hauteur de la colonne d'eau qui mesurait l'excès de la pression dans l'intérieur du vase dont l'air s'écoulait, sur la pression extérieure mesurée par la hauteur du baromètre. Pour le calcul de ces expériences, il faut d'abord évaluer la quantité désignée par k dans le n°. 4, en prenant le pied de Suède pour unité linéaire. Cette quantité (d'après la note de ce n°.) est exprimée par la formule

$$k = g\,\eta\,\varpi\,\frac{1 + 0{,}00375 . v}{\Pi}.$$

On trouve, dans le Mémoire de M. Lagerhjelm, que la vitesse imprimée en une seconde par la gravité aux corps pesans, dont la valeur en mètres est de $9^{m},809$, a pour valeur en pieds de Suède $33^{p},068$: d'où l'on conclut (en négligeant la différence des valeurs de g en Suède et à Paris) que la hauteur du baromètre $0^{m},76$, sous laquelle le mètre cube d'air pèse $1^{k},3$ à la température $0°$, est égale à $2^{p},562$. On fera donc, dans la formule précédente, $g = 33{,}068$, $\eta = 2{,}562$, $\varpi = 13568$, $\Pi = 1{,}3$; ce qui donnera

$$k = 1149300\,\frac{1 + 0{,}00375 . v}{1{,}3},$$

expression au moyen de laquelle on déterminera facilement la valeur de k, qui convient à chaque expérience, d'après la température indiquée, en construisant une table des valeurs de $\frac{1{,}3}{1 + 0{,}00375 . v}$, c'est à dire du poids en kilogrammes du mètre cube d'air à la température désignée par v, sous

la pression $0^m,76$. Il faut ensuite réduire dans le rapport des pesanteurs spécifiques de l'eau et du mercure les hauteurs rapportées dans la deuxième colonne, et les ajouter aux hauteurs du baromètre rapportées dans la troisième colonne, pour avoir les hauteurs de mercure qui mesurent les pressions intérieures.

(Par exemple, pour la première expérience, on a $k = \frac{1149300}{1,227}$. La pression intérieure est $2,545 + \frac{1,616}{13,568} = 2,664$; et par conséquent $\frac{P}{P'} = \frac{2,664}{2,545}$. On a d'ailleurs $\Omega' = \frac{\pi}{4}(0,1122)^2$. La formule (11), si l'on prend le logarithme dans les tables ordinaires, doit être écrite

$$\frac{P'\,\Omega'}{P}\sqrt{2k\,(2,30206)\log.\frac{P}{P'}}.$$

En substituant dans cette formule les valeurs précédentes, on trouve pour la dépense qui aurait lieu en une seconde si l'orifice était évasé, $2^{\text{pi.c.}},763$. La dépense qui a eu lieu étant $\frac{7,5809}{4,5}$, on en conclut, pour la valeur du rapport des deux dépenses, $m = \frac{7,5809}{4,5 \times 2,763} = 0,6097$.)

Les valeurs du rapport m, contenues dans la dernière colonne du tableau précédent, présentent des irrégularités qui paraissent provenir seulement des erreurs d'observation. La moyenne de ces valeurs étant $m = 0,6149$, il paraît que

la contraction de l'air s'opère ici absolument de la même manière que celle de l'eau.

11. On trouve dans les *Annales des Mines*, t. XIII, 1826, des expériences de ce genre, faites par M. d'Aubuisson, habile ingénieur des mines: le tableau suivant présente les résultats moyens de ces expériences.

Diamètre de l'orifice.	Pression intérieure.	Valeur du rapport *m*.
mètre.	mètre. mètre.	
0,01	0,0286 à 0,144	0,63
0,015	0,028 à 0,122	0,652
0,02	0,027 à 0,06	0,646
0,03	0,027 à 0,05	0,673

La deuxième colonne, intitulée *pression intérieure,* donne les plus petites et les grandes hauteurs des colonnes d'eau qui mesuraient l'excès de la pression qui avait lieu dans le gazomètre sur la pression extérieure, dans les quatre, cinq ou six expériences qui ont été faites sur chaque orifice, et qui ont donné les valeurs moyennes du rapport *m* portées dans la troisième colonne. Ces valeurs sont obtenues en divisant la dépense effective par la dépense que l'on calculerait au moyen de la formule (4) du n°. 2, formule qui donne en général des résultats trop grands, mais que l'on peut employer sans erreur sensible dans le cas des expériences dont il s'agit, à raison de la petitesse de l'excès de la pression inté-

rieure sur la pression extérieure. Les valeurs que l'on obtient ici pour le rapport *m* surpassent sensiblement la valeur déduite des expériences de M. Lagerhjelm, expériences qui méritent peut-être plus de confiance, parce qu'elles ont été pour la plupart faites sous des charges beaucoup plus grandes. On peut remarquer aussi que les orifices, dans les expériences de M. d'Aubuisson, n'étaient point ouverts immédiatement dans la paroi du gazomètre, mais dans une plaque formant l'extrémité d'un petit tuyau de $0^m,08$ de diamètre, et $0^m,027$ de longueur, implanté sur cette paroi. Cette circonstance doit avoir diminué la contraction extérieure; et l'on est d'autant mieux porté à en juger ainsi, que l'on voit les valeurs du rapport *m* augmenter de 0,65 à 0,673, en même temps que le diamètre de l'orifice augmente de $0^m,01$ à $0^m,03$; c'est à dire en même temps qu'il y a moins de différence entre le diamètre de l'orifice et celui de la portion de tuyau qui forme une sorte d'embouchure en deçà de cet orifice. On peut présumer, d'après cela, que ces expériences de M. d'Aubuisson ne doivent point infirmer la conclusion énoncée à la fin du n°. précédent.

Solution de la question de l'écoulement de l'air dans un vase ou tuyau par le principe de la conservation des forces vives. Des cas où il y a perte de forces vives.

12. Considérons l'écoulement du fluide dans le vase représenté *fig.* 1, et reprenons les suppositions et les dénominations du n°. 4. On sait, par les recherches de Daniel Bernouilly et de Borda,

que les questions relatives à l'écoulement des liquides se résolvent facilement par le principe de la conservation des forces vives. Il en est de même des questions relatives aux fluides élastiques ; mais il ne faut point oublier que ce principe, qui consiste en ce que, dans un temps donné, la force vive du système augmente d'une quantité numériquement égale au double des quantités d'action imprimées par les forces (1), ne peut s'appliquer à un système composé de parties élastiques, qu'autant que l'on considérera non seulement les forces extérieures, mais encore les actions mutuelles qui s'exercent entre les parties du système ; actions qu'il est indifférent de considérer ou non, dans les systèmes où les points d'application des forces sont assujettis par des liens de longueur invariable, parce que les quantités d'action qui en résultent donnent alors une somme nulle.

Nous remarquerons donc ici, d'une part, que la force vive de la tranche placée en $\alpha\beta$ est, au bout du temps, t, $\rho\omega\, dx \,.\, u^2$; que cette force vive augmente dans l'élément du temps dt de la quantité $\rho\omega\, dx \,.\, 2\, u\, du$; et par conséquent que l'on a

$$\int \rho\,\omega\, dx \,.\, 2\, u\, du$$

(1) Nous entendons ici par *force vive d'un corps* le produit de la masse de ce corps par le carré de sa vitesse actuelle, et par *force vive du système* la somme des produits semblables faits pour toutes les parties matérielles dont le système se compose. Nous désignons par *quantité d'action imprimée par une force* l'intégrale du produit de l'effort ou pression que la force exerce, par l'élément de l'espace que parcourt le point d'application dans la direction de cet effort ou pression.

pour l'accroissement de la force vive du fluide dans ce même intervalle de temps, l'intégrale étant prise depuis la section AB jusqu'à la section CD, ou depuis $x = 0$ jusqu'à $x = \text{MN}$.

D'autre part, cette même tranche est soumise, par l'effet des actions mutuelles des tranches, à l'effort $\omega\, dp$, qui la pousse en sens contraire de son mouvement : l'espace qu'elle parcourt dans le temps dt est udt. Par conséquent la quantité d'action imprimée à la tranche par l'effet de ces actions mutuelles est $-\omega\, dp\,.\,udt$; et la somme des quantités d'action imprimées à toutes les tranches est

$$-\int \omega dp\,.\,udt,$$

l'intégrale étant prise entre les mêmes limites que la précédente.

Le principe énoncé ci-dessus donne donc l'équation

$$-2\int \omega\, dp\,.\,udt = \int \rho\omega\, dx\,.\,2udu; \quad (17)$$

ou, en mettant udt à la place de dx, et supprimant dt, comme un facteur constant commun à tous les termes,

$$-k\int \omega dp\,.\,u = \int p\omega\,.\,u^2 du.$$

En remplaçant u et du par les valeurs (6) du n°. 4, et en supprimant encore le facteur constant $\text{P}'\Omega'\text{U}$, cette équation deviendra

$$k\int \frac{dp}{p} = \text{P}'^2\,\Omega'^2\,\text{U}^2 \int \frac{d(p\omega)}{p^3\,\omega^3};$$

et en effectuant les intégrations indiquées, on trouvera

$$2\,k \log. \frac{P}{P'} = U^2\left(1 - \frac{P'^2\Omega'^2}{P^2\ \Omega^2}\right),$$

ce qui s'accorde avec l'équation (8) du n°. 4.

Il est évident d'ailleurs que l'équation (17) doit subsister pour une portion quelconque du système, telle que A$\alpha\beta$B, aussi bien que pour le système entier des tranches ACDB. Par conséquent, on peut, dans cette équation, prendre dans ce membre les intégrales depuis la section AB jusqu'à la section $\alpha\beta$ seulement; ce qui donnera

$$2\,k \log. \frac{P}{p} = U^2\left(\frac{P'^2\ \Omega'^2}{p^2\ \omega^2} - \frac{P'^2\ \Omega'^2}{P^2\ \omega^2}\right),$$

équation conforme à l'équation (7) du n°. 4, et qui servira à déterminer la valeur de la pression dans une section quelconque, comme on l'a vu n°. 8.

13. Considérons maintenant les cas où il y aurait des changemens brusques dans la grandeur des sections transversales du vase ou tuyau parcouru par le fluide, et spécialement les cas où le fluide serait obligé de passer par un petit orifice ouvert dans un diaphragme établi transversalement dans l'intérieur du vase. On sait que, pour les fluides incompressibles, une semblable disposition cause une diminution dans la vitesse d'écoulement, et que, en conservant toujours l'hypothèse du parallélisme des tranches, on représente assez fidèlement les effets naturels, en tenant compte de la perte de force vive résultant des changemens instantanés qui doivent être supposés dans les vitesses des tranches. Les mêmes

considérations peuvent être appliquées à l'écoulement des fluides élastiques. Nous supposerons donc que l'on ait établi dans le vase ABCD (*fig.* 6) un diaphragme transversal, qui oblige le fluide à passer dans la section EF, à laquelle succède immédiatement la section plus grande GH. On admet que la section EF est précédée par une sorte d'embouchure, de manière que les filets de fluide arrivent tous à cette section dans des directions parallèles à l'axe MN. En conservant les dénominations du n°. 4, on représentera par

A l'aire de la section EF;
A' l'aire de la section GH;
B la valeur de la pression qui a lieu dans la section EF;
B' la valeur de la pression qui a lieu dans la section GH.

Cela posé, en remarquant que les vitesses dans les sections EF et GH sont respectivement $\frac{P'\Omega'U}{BA}$ et $\frac{P'\Omega'U}{B'A'}$, on voit que les tranches, en passant d'une section à l'autre, perdront instantanément la vitesse $U\left(\frac{P'\Omega'}{BA}-\frac{P'\Omega'}{B'A'}\right)$. La masse du fluide qui franchit une section quelconque, pendant l'élément du temps dt, est $\frac{P'}{k}\Omega' U\,dt$. Ainsi, conformément au théorème de Carnot, le système subit pendant ce temps une perte de force vive dont la valeur est

$$\frac{P'}{k}\Omega' U\,dt.U^2\left(\frac{P'\Omega'}{BA}-\frac{P'\Omega'}{B'A'}\right)^2. \qquad (18)$$

Cette quantité doit être ajoutée au second mem-

bre de l'équation (17). En faisant cette addition, et opérant comme ci-dessus, on trouvera pour l'équation dont dépend la valeur de la vitesse

$$2\,k \log.\frac{P}{P'} = U^2 \left[1 - \frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2} + \left(\frac{P'\,\Omega'}{BA} - \frac{P'\,\Omega'}{B'A'}\right)^2\right],$$

d'où l'on déduit

$$U = \sqrt{\frac{2k\,\log.\frac{P}{P'}}{1 - \frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\Omega^2} + \left(\frac{P'\,\Omega'}{BA} - \frac{P'\,\Omega'}{B'A'}\right)^2}}, \quad (19)$$

expression par laquelle on doit remplacer ici la formule (8) du n°. 4.

A l'égard maintenant des pressions qui auront lieu dans les diverses parties du vase, on remarquera, conformément à ce qui a été dit à la fin du n°. 12, que si l'on veut calculer cette valeur pour une section comprise dans la partie AEFB du vase, il faut employer l'équation (17) sans ajouter au second membre la quantité (18), puisque la perte de force vive n'a lieu qu'après la section EF. Par conséquent, la pression sera donnée dans cette partie comme ci-dessus par l'équation

$$2\,k\,\log.\frac{P}{p} = U^2\left(\frac{P'^2\,\Omega'^2}{p^2\,\omega^2} - \frac{P'^2\,\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}\right). \quad (20)$$

Mais si l'on veut calculer la valeur de la pression pour une section comprise dans la partie GHDC du vase, il faut employer l'équation (17) avec l'addition au second membre de la quantité (18): en sorte que la pression sera donnée dans cette seconde partie par l'équation

$$2k\log.\frac{P}{p}=U^2\left[\frac{P'^2\Omega'^2}{p^2\ \omega^2}-\frac{P'^2\Omega'^2}{P^2\ \Omega^2}+\left(\frac{P'\Omega'}{BA}-\frac{P'\Omega'}{B'A'}\right)^2\right].\ (21)$$

La première de ces équations doit être satisfaite par les valeurs qui conviennent à la section EF, c'est à dire en faisant $p=B$, $\omega=A$. La seconde doit être satisfaite par les valeurs qui conviennent à la section GH ; c'est à dire en faisant $p=B'$, $\omega=A'$. En faisant ces substitutions, et en éliminant U au moyen de l'équation (19), on aura

$$\frac{\log.\frac{P}{B}}{\log.\frac{P}{P'}}=\frac{\frac{1}{B^2A^2}-\frac{1}{P^2\Omega^2}}{\frac{1}{P'^2\Omega'^2}-\frac{1}{P^2\Omega^2}+\left(\frac{1}{BA}-\frac{1}{B'A'}\right)},$$

$$\frac{\log.\frac{P}{B'}}{\log.\frac{P}{P'}}=\frac{\frac{1}{B'^2A'^2}-\frac{1}{P^2\Omega^2}+\left(\frac{1}{BA}-\frac{1}{B'A'}\right)^2}{\frac{1}{P'^2\Omega'^2}-\frac{1}{P^2\Omega^2}+\left(\frac{1}{BA}-\frac{1}{B'A'}\right)^2},\quad (22)$$

équations au moyen desquelles on déterminera les valeurs des pressions B et B'. Ces valeurs, étant substituées dans les formules (19), (20) et (21), feront connaître la vitesse d'écoulement et les pressions dans toute l'étendue du vase.

Si l'entrée de l'orifice intérieur EF n'était pas évasée, et si cet orifice était ouvert dans un diaphragme plan, comme l'indique la *fig.* 7, on aurait égard à cette circonstance, en admettant que la veine de fluide qui franchit la section EF se contracte à une petite distance au delà de cette section en *ef*, et que c'est après cette contraction que les tranches s'élargissent subitement pour occuper la section GH. Par consé-

quent, désignant, comme dans le n°. 10, par m le rapport des sections ef et EF, les formules précédentes conviendront à ce cas en y mettant m A au lieu de A.

S'il y avait dans le vase plusieurs diaphragmes, et que le fluide eût à franchir plusieurs orifices intérieurs, il est évident qu'il faudrait ajouter au second membre de l'équation (17) autant de termes semblables à la formule (18) qu'il y aurait de diaphragmes; et que la même équation donnerait successivement la valeur de la pression dans les diverses divisions du vase, en mettant dans le second membre les termes dont il s'agit, relatifs aux diaphragmes que le fluide a dû traverser pour parvenir dans chacune de ces divisions.

Nous remarquerons encore que les résultats précédens s'appliqueraient facilement aux cas particuliers qui ont été remarqués dans le n°. 9, où le vase présente un étranglement en EF (*fig.* 4 et 5), et où, quoique les sections ne varient que par degrés insensibles, il peut néanmoins arriver qu'il y ait au passage de l'étranglement un changement fini dans la valeur de la pression, et par conséquent une perte de force vive. Il suffira, pour appliquer ces résultats aux cas dont il s'agit, de faire $A = A'$ dans les équations précédentes. En admettant cette supposition, les équations (22) deviennent

$$\frac{\log.\frac{P}{B}}{\log.\frac{P}{P'}}=\frac{\frac{1}{B^2A^2}-\frac{1}{P^2\Omega^2}}{\frac{1}{P'^2\Omega'^2}-\frac{1}{P^2\Omega^2}+\left(\frac{1}{BA}-\frac{1}{B'A}\right)^2},$$

$$\frac{\log.\frac{P}{B'}}{\log.\frac{P}{P'}}=\frac{\frac{1}{B^2A^2}-\frac{1}{P^2\Omega^2}+\left(\frac{1}{BA}-\frac{1}{B'A}\right)}{\frac{1}{P'^2\Omega'^2}-\frac{1}{P^2\Omega^2}+\left(\frac{1}{BA}-\frac{1}{B'A}\right)^2}.$$

On peut remarquer que ces équations deviennent maintenant identiques si l'on fait $B = B'$, et donnent toutes deux alors

$$\frac{\log.\frac{P}{B}}{\log.\frac{P}{P'}}=\frac{\frac{P^2\Omega^2}{B^2A^2}-1}{\frac{P^2\Omega^2}{P'^2\Omega'^2}-1}.$$

Cette dernière équation donnera généralement pour B deux valeurs. On voit par là comment l'analyse satisfait ici à la nécessité de comprendre dans une même solution : 1°. le cas de la *fig.* 2, où la pression ne change pas brusquement dans l'étranglement et où il n'y a pas de perte de force vive ; 2°. le cas de la *fig.* 3, où il y a dans l'étranglement changement brusque de la valeur de la pression, et par conséquent perte de force vive. En effet, il est visible que, dans le premier cas, on doit prendre pour B' la plus grande des deux valeurs données par l'équation précédente, valeur qui sera identique avec celle qui résulterait de l'équation (12) du n°. 8. En donnant à B et B' cette valeur dans l'expression (19) de la vitesse d'écoulement, en même temps

que l'on y fera $A = A'$, le terme du dénominateur introduit par la considération de la perte de force vive disparaîtra. Le même terme disparaîtra également dans l'équation (21) qui donne les pressions dans la partie du vase placée au delà de l'étranglement. Dans le second cas, au contraire, on prendra pour B la plus grande, et pour B' la plus petite des valeurs données par l'équation précédente, et en substituant ces deux valeurs dans la formule (19), en même temps que l'on y fera $A = A'$, on aura la véritable valeur de la vitesse d'écoulement, diminuée comme il convient qu'elle le soit par l'effet de la perte de force vive qui a lieu dans le cas dont il s'agit.

14. Supposons, dans le vase représenté *fig.* 6, les deux sections EF et CD très petites par rapport aux sections AB, GH. Ce cas est un de ceux où il y a nécessairement perte de force vive. L'expression (19) de la vitesse d'écoulement deviendra alors, à fort peu près,

$$U = \sqrt{\frac{2k \log. \frac{P}{P'}}{1 + \frac{P'^2}{B^2} \frac{\Omega'^2}{A^2}}}; \qquad (23)$$

et les équations (22) pourront être remplacées, sans erreur sensible, par

$$\frac{\log.\frac{P}{B}}{\log.\frac{P}{P'}} = \frac{1}{\frac{B^2 A^2}{P'^2 \Omega'^2}+1},$$

$$\frac{\log.\frac{P}{B'}}{\log.\frac{P}{P'}} = \frac{1}{\frac{B^2 A^2}{P'^2 \Omega'^2}+1}. \qquad (24)$$

Les seconds membres de ces équations étant identiques, il en résulte que l'on a ici $B = B'$. Ainsi, dans le cas particulier dont il s'agit, la pression du fluide ne varie pas d'une quantité finie quand il passe immédiatement de la section EF dans la section GH. On peut s'assurer d'ailleurs que la valeur de B ou B', donnée par les équations (24), sera toujours plus grande que la pression extérieure P', et qu'elle ne deviendrait égale à cette pression qu'autant que la section ED, dont l'aire est désignée par A, serait extrêmement petite par rapport à l'orifice d'écoulement CD. La formule (23) montre que la valeur de la vitesse d'écoulement deviendrait alors très petite. Ainsi, en obligeant le fluide à passer par un orifice intérieur très petit, on peut diminuer autant qu'on le veut la vitesse d'écoulement.

Si la pression P surpassait très peu la pression extérieure P', il en serait de même de la pression B, et l'on aurait, à très peu près,

$$\log.\frac{P}{P'} = \frac{P-P'}{P'}, \quad \log.\frac{P}{B} = \frac{P-B}{P'}, \quad \frac{B^2}{P'^2} = 1 + 2\,\frac{B-P'}{P'}.$$

Substituant ces valeurs dans les équations (24), on en déduit, à fort peu près,

$$B = B' = \frac{P + P'\frac{\Omega'^2}{A^2}}{1 + \frac{\Omega'^2}{A^2}}. \qquad (25)$$

Dans le cas où les sections EF et CD seraient égales, cette équation donnerait

$$B = B' = \frac{P + P'}{2},$$

en sorte que la pression à la section EF serait alors moyenne arithmétique entre les pressions P et P', qui ont lieu aux sections extrêmes AB, CD. La formule (23) devient alors

$$U = \sqrt{\frac{2k \log. \frac{P}{P'}}{1 + \frac{4P'^2}{(P+P')^2}}}, \qquad (26)$$

et en comparant ce résultat avec la formule (10), on voit qu'en obligeant le fluide à traverser l'orifice intérieur EF, on diminue ici la vitesse à l'orifice CD, et par conséquent le volume du fluide qui s'écoule dans un temps donné, dans un rapport qui diffère fort peu de celui de $\sqrt{2}$ à 1.

De l'écoulement de l'air par un tuyau ou ajutage cylindrique ou conique adapté à un orifice.

15. Considérons d'abord le cas où le tuyau cylindrique s'adapterait à la face plane du réservoir au moyen d'une sorte d'embouchure, comme

l'indique la *fig.* 8, de telle manière que les filets de fluide, arrivant à la première section EF de ce tuyau, soient tous dirigés parallèlement à l'axe MN. Dans ce cas, la vitesse et la quantité de l'écoulement sont évidemment données par les formules des nos. 4 et 6, abstraction faite de l'effet du frottement du fluide contre la paroi du tuyau. La valeur de la pression doit également être déterminée d'après les considérations exposées dans le no. 8; et par conséquent on doit penser que si l'on est dans le cas de la *fig.* 2, la pression diminue progressivement de A B en E F, depuis la valeur P jusqu'à la valeur P′, qui a lieu dans le milieu où le fluide s'écoule, valeur qui subsiste également dans toute la portion EFDC du tuyau. Mais si l'on est dans le cas de la *fig.* 3, on doit penser que la pression, de AB en EF, passe de la valeur P à la valeur P″, qui répond dans la *fig.* 3 au point M″, situé à la même distance de l'axe *op* que le point M′; et que cette pression P″ subsiste également depuis EF jusqu'à la section extrême C D, où la pression passe brusquement de la valeur P″ à la valeur P′ qui a lieu à l'extérieur du vase.

Considérons maintenant le cas où, comme le représente la *fig.* 9, l'entrée du tuyau cylindrique adapté à la face plane du réservoir ne serait point évasée. Il faudra alors employer l'analyse du no. 13, qui s'appliquera en admettant que la veine de fluide qui a traversé la section EF, s'étant contractée en *ef*, se dilate subitement en GH. Par conséquent, il faudra d'abord écrire, dans les formules de ce no., *m* A au lieu de A; puis faire $A = A' = \Omega'$. En supposant de plus Ω' fort

petite par rapport à Ω, nous aurons ici, au lieu de l'équation (19)

$$U=\sqrt{\frac{2\,k\log.\frac{P}{P'}}{1+\left(\frac{P'}{m\,B}-\frac{P'}{B'}\right)^2}}\,;$$

et au lieu des équations (22),

$$\frac{\log.\frac{P}{B}}{\log.\frac{P}{P'}}=\frac{\frac{1}{m^2\,B^2}}{\frac{1}{P'^2}+\left(\frac{1}{mB}-\frac{1}{B'}\right)^2},$$

$$\frac{\log.\frac{P}{B'}}{\log.\frac{P}{P'}}=\frac{\frac{1}{B'^2}+\left(\frac{1}{m\,B}-\frac{1}{B'}\right)^2}{\frac{1}{P'^2}+\left(\frac{1}{m\,B}-\frac{1}{B'}\right)^2}.$$

B et B' représentent respectivement les pressions qui ont lieu dans les sections *ef* et GH. La dernière de ces équations donne $B'=P'$, en sorte que la pression dans la section GH, comme on pouvait le présumer, est égale à la pression extérieure qui a lieu dans la section extrême CD. D'après ce résultat, les deux autres équations deviendront respectivement

$$U=\sqrt{\frac{2\,k\log.\frac{P}{P'}}{1+\left(\frac{P'}{mB}-1\right)^2}},\quad (27)$$

$$\frac{\log.\frac{P}{B}}{\log.\frac{P}{P'}}=\frac{\frac{P'^2}{m^2B^2}}{1+\left(\frac{P'}{mB}-1\right)^2}.\quad (28)$$

La valeur de B donnée par la seconde, étant substituée dans la première, fera connaître la vitesse d'écoulement.

16. Supposons que la pression P surpasse très peu la pression extérieure P′, la pression B différera également très peu de P′. En faisant $P = P'(1+\pi)$, $B = P'(1+\varepsilon)$, substituant ces valeurs dans l'équation (28), et négligeant le carré et les puissances supérieures des fractions π et ε, cette équation donnera

$$\varepsilon = -\pi \frac{2m - 2m^2}{1 - 2m + 2m^2},$$

c'est à dire

$$B = P' - (P - P') \frac{2m - 2m^2}{1 - 2m + 2m^2}, \qquad (29)$$

valeur qu'il faudra substituer dans l'équation (27). En donnant au rapport m la valeur 0,62, on aura $B = P' - 0{,}89\,(P - P')$.

On voit, par ces résultats, que la pression, avant la section *ef*, est toujours plus petite que la pression extérieure P′, qui a lieu depuis G H jusqu'en C D. Cet abaissement dans la pression intérieure est égal à peu près aux $\frac{9}{10}$ de la différence des pressions extrêmes P et P′. En substituant la valeur (29) de B dans l'expression (28) de la vitesse d'écoulement, cette expression donnera une valeur de cette vitesse, qui sera toujours plus petite que

$$U = \sqrt{\frac{2k \log . \frac{P}{P'}}{1 + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2}},$$

et qui s'éloignera d'autant plus de cette limite

que la différence $P - P'$ sera plus grande. On conclut de là que la quantité de l'écoulement est toujours ici plus petite que la valeur (11), qui convient à un orifice évasé, multipliée par la fraction

$$\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}},$$

et que la différence augmente avec l'excès de la pression intérieure qui a lieu dans le gazomètre sur la pression extérieure. Or la fraction précédente représente précisément, pour l'écoulement d'un liquide, le rapport de la dépense qui a lieu par un petit ajutage cylindrique à la dépense qui a lieu par un orifice évasé, rapport qui est constant et indépendant de la charge sous laquelle s'opère l'écoulement. Ainsi nous reconnaissons que, par un fluide élastique, l'écoulement par un petit ajutage cylindrique peut être assimilé à celui d'un liquide, si la charge sous laquelle l'écoulement s'opère est extrêmement petite; mais qu'à mesure que la différence des pressions extrêmes augmente, le rapport de la dépense effective à ce qu'on appelle la dépense théorique, au lieu de demeurer constant, comme cela a lieu pour les liquides, décroît progressivement.

Nous désignerons dans la suite par μ le rapport de la dépense qui a effectivement lieu par un ajutage cylindrique à la dépense qui serait calculée par la formule (11) du n°. 6. D'après ce qui précède, et en se rappelant que l'on a trouvé, pour l'air comme pour l'eau $m = 0{,}62$, on a, à fort peu près,

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{0{,}62\left(1 - 0{,}89\frac{P - P'}{P'}\right)} - 1\right)^2}} \quad (30)$$

lorsque la différence des pressions P, P′ est fort petite par rapport aux valeurs de ces pressions.

17. On trouve dans le mémoire de M. Lagerhjelm, cité ci-dessus, deux expériences sur l'écoulement de l'air par un ajutage cylindrique, dont les résultats sont consignés dans le tableau suivant. Le diamètre de ce tuyau était de $0^{\text{pi}},063$, et la longueur de $0^{\text{pi}},46$; la hauteur du baromètre extérieur de $2^{\text{pi}},511$, et la température de 13° cent.

Pression intérieure.	Durée de l'écoulement.	Volume d'air écoulé.	Valeur du rapport μ.
Pieds.	Secondes.	Pieds cubes.	
1,515	11,25	8,0197	0,84
0,5757	20,5	7,893	0,7164

La grande différence des deux valeurs de μ données par ces expériences, différence qui est en sens contraire de ce qu'elle devrait être d'après la théorie précédente, ne permet pas de leur attribuer une très grande exactitude. Le résultat moyen est $\mu = 0{,}78$; et ce rapport, étant un peu plus petit que celui qui conviendrait à l'eau dans les mêmes circonstances, confirmerait d'ailleurs entièrement la théorie dont il s'agit. On peut reconnaître aussi que les observations de M. Lagerh-

jelm sur la diminution de pression qui a lieu dans la partie du tuyau où la veine s'est contractée s'accordent tout à fait avec les résultats qui ont été énoncés ci-dessus. Seulement ces observations indiquent que la pression diminue de la paroi à l'axe du tuyau, circonstance qui ne peut être reproduite par des formules fondées sur l'hypothèse du parallélisme des tranches, d'après laquelle la pression, aussi bien que la vitesse, est censée la même dans tous les points d'une même section, et qui par conséquent donne un résultat unique, qu'il faut comparer à la moyenne de ceux qui seraient observés dans les diverses parties de cette section.

18. D'autres expériences, dues à M. d'Aubuisson, et consignées dans le volume des *Annales des Mines* cité plus haut, ont donné des résultats dont on peut prendre une idée par le tableau suivant.

Diamètre de l'ajutage.	Longueur de l'ajutage.	Pression intérieure.	Valeur du rapport μ.
Mètre.	Mètre.	Mètre. Mètre.	
0,01	0,04	0,027 à 0,0141	0,931
0,015	0,045	0,027 à 0,012	0,924
0,02	0,06	0,028 à 0,096	0,916
0,03	0,c8	0,025 à 0,039	0,933
0,022	0,022		0,927
	0,045		0,924
	0,160		0,832
	0,325		0,738

La valeur du coefficient μ, pour les expériences où la longueur du tuyau ne surpasse pas trois à quatre fois le diamètre, est 0,926. Le résultat relatif au tuyau dont la longueur est égale à sept ou huit fois le diamètre est compris entre ceux des deux expériences de M. Lagerhjelm, où la proportion était à peu près la même, et par conséquent s'accorde, comme ces derniers, avec la théorie précédente. Les autres expériences indiquent des valeurs de μ plus grandes que celles qui résulteraient de cette théorie, en supposant que la veine fluide se contractât à l'entrée de l'ajutage dans le rapport de 1 à 0,62, c'est à dire en faisant $m=0,62$, comme on l'a fait daus la formule (30). Cette différence peut s'expliquer en partie par la circonstance qui a été mentionnée nº. 11, d'après laquelle la contraction devait être moindre à l'entrée de l'ajutage qu'elle n'eût été si l'orifice n'avait pas été précédé d'une sorte d'embouchure. En effet, la valeur du rapport μ doit différer ici extrêmement peu de celle qui serait déduite de la formule

$$\mu=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}},$$

formule qui donne $\mu=0,85$ quand on y fait $m=0,62$. Mais si l'on y fait $m=0,65$, valeur qui résulte immédiatement des expériences de M. d'Aubuisson, faites avec le même appareil sur un orifice en mince paroi, comme on l'a vu nº. 11, la même formule donnera $\mu=0,88$, résultat qui ne s'éloigne plus autant de la valeur 0,926 trouvée par l'expérience. Comme les expériences dont il s'agit ont d'ailleurs été faites avec de très

petites charges, il paraît qu'en attendant des observations plus variées et plus nombreuses, on peut admettre la théorie du n°. 15, et employer l'expression (30) pour la détermination du rapport μ.

M. d'Aubuisson a également fait sur des ajutages coniques des expériences dont le tableau suivant présente les résultats moyens.

DIAMÈT. DE L'AJUTAGE, à la base.	DIAMÈT. DE L'AJUTAGE, à l'orifice.	Longueur de l'ajutage.	Pression intérieure.	Valeur du rapport μ.
mètre.	mètre.	mètre.	mètre. mètre.	
0,02	0,01	0,04	1,05 à 0,12	0,927
0,03	0,015	0,045	0,028 à 0,12	0,917
0,04	0,02	0,06	0,027 à 0,06	0,936
0,06	0,03	0,08	0,04 à 0,05	0,933
0,02	0,015	0,045	0,028 à 0,12	0,938
0,03				0,917
0,06				0,798
0,02		0,025		0,947

Les résultats du n°. 15 ne conviennent pas en général à un ajutage conique, parce que les trois sections EF, GH, CD (*fig.* 8) ne sont plus égales entre elles, et parce qu'il y a une contraction extérieure de la veine au delà de la section extrême CD. Toutefois, comme dans la presque totalité des expériences précédentes, l'inclinaison de l'arête du cône sur l'axe était fort petite, on pourrait appliquer ici, sans erreur sensible, les résultats relatifs aux ajutages cylindriques. Ces expériences

donneraient alors lieu à des remarques semblables à celles qui viennent d'être faites.

De l'écoulement d'un fluide élastique d'un vase dans un autre par un petit orifice.

19. Considérons deux vases de figure rectangulaire, qui communiquent entre eux par un petit orifice. On suppose qu'un fluide élastique contenu dans le premier vase s'écoule dans le second en traversant cet orifice. Étant données les pressions, et par conséquent les densités, qui ont lieu à un certain instant dans les deux vases, il s'agit de connaître les pressions et les densités qui auront lieu après un temps quelconque. Soit nommé

A le volume du vase dont le fluide sort;
A′ le volume du vase dans lequel le fluide entre;
P, P′ les pressions qui ont lieu respectivement dans les deux vases, à l'instant où l'on compte $t = 0$;
p, p' les pressions qui ont lieu respectivement dans les deux vases, au bout du temps t;
Ω' l'aire de l'orifice de communication.

D'après la petitesse de l'orifice Ω', et la figure supposée aux deux vases, nous admettrons 1°. que la vitesse d'écoulement est produite par l'effet de la différence des pressions p, p', de la même manière que cela aurait lieu si ces pressions ne variaient pas avec le temps; 2°. que ces mêmes pressions, à un instant donné, subsistent dans toute l'étendue des deux vases. Ces hypothèses ne peuvent différer sensiblement des effets naturels, et sont analogues à ce qui a lieu lorsqu'un vase qui avait été rempli d'eau se vide par un petit orifice; cas dans lequel il est permis de regarder la vi-

tesse variable qui a lieu à cet orifice comme étant due à chaque instant à la hauteur du fluide dans le vase, et la pression dans toutes les parties du vase comme étant la même qui aurait lieu si le fluide était en repos. D'après cela, le volume de fluide qui s'écoule hors du premier vase, dans le temps infiniment petit dt, sera exprimé, d'après la formule (11), par

$$dt.\frac{p'\Omega'}{p}\sqrt{2k\log.\frac{p}{p'}}.$$

Or la pression doit diminuer dans le premier vase précisément dans le rapport du volume du fluide qui en sort au volume total : donc, on a la relation

$$-\frac{dp}{p}=\frac{1}{A}dt.\frac{p'\Omega'}{p}\sqrt{2k\log.\frac{p}{p'}};$$

d'où l'on déduit

$$dt=-\frac{A\,dp}{p'\Omega'\sqrt{2k(\log.p-\log.p')}}. \qquad (31)$$

Mais en remarquant que la masse du fluide contenue dans les deux vases doit demeurer toujours la même, on a de plus l'équation

$$AP+A'P'=Ap+A'p';$$

et en substituant la valeur de p' déduite de cette dernière équation dans la précédente, il viendra

$$dt=-\frac{AA'.dp}{\Omega[A(P-p)+A'P']\sqrt{2k\{\log.p-\log.[A(P-p)+A'P']+\log.A'\}}}. (32)$$

Cette équation étant intégrée depuis $p=P$, don-

nera le temps nécessaire pour que la pression passe dans le premier vase de la valeur initiale P à la valeur quelconque p.

Si le fluide s'écoulait hors du premier vase dans un milieu d'une étendue indéfinie où la pression serait supposée constante, il faudrait attribuer à p' la valeur constante P′ dans l'équation (31); ce qui donnerait, au lieu de l'équation (32)

$$dt = -\frac{A \,.\, dp}{P'\Omega'\sqrt{2k(\log.p - \log.P')}}. \quad (33)$$

On parviendrait au même résultat en supposant dans l'équation (32) A′ infiniment grand par rapport à A.

De l'écoulement de l'air dans un tuyau de conduite.

20. On a vu ci-dessus, dans les nos. 15 et 16, les résultats que l'on obtenait en appliquant la théorie précédente au cas de l'écoulement d'un fluide élastique par un tuyau cylindrique placé horizontalement, et adapté à la paroi d'un réservoir ou gazomètre. Ces résultats consistent en ce que la quantité de fluide écoulé dans un temps donné doit, si l'entrée du tuyau est évasée (*fig.* 8), être calculée par les formules (9) ou (11); et si cet évasement n'a pas lieu (*fig.* 9), par les mêmes formules multipliées par un rapport fractionnaire, qui est exprimé par la formule (30) lorsque la pression qui a lieu dans le gazomètre n'est pas beaucoup plus grande que la pression dans le milieu où le fluide s'écoule. Les valeurs obtenues de cette manière s'accorderont avec les effets naturels, sauf une petite diminution qui pourra

résulter du frottement du fluide contre la paroi du tuyau, et qui sera très peu sensible lorsque la longueur du tuyau n'en surpassera pas huit à dix fois le diamètre. Quant à la pression, si l'entrée du tuyau est évasée, elle sera constante dans toute l'étendue du tuyau : égale à la pression extérieure si le premier membre de l'équation (16) est $< \frac{1}{2}$; plus grande que cette pression extérieure dans le cas contraire. Si l'entrée du tuyau n'est point évasée, la pression, à quelque distance de la paroi du gazomètre, s'abaisse au dessous de la pression extérieure, puis redevient égale à cette dernière pression jusqu'à l'extrémité du tuyau.

Lorsque la longueur du tuyau est très grande, qu'elle est égale, par exemple, à cent fois le diamètre, ou davantage, l'expérience apprend que les volumes de fluide écoulé dans un temps donné sont beaucoup au dessous de ceux qui seraient calculés d'après ce que l'on vient de dire, et de plus que la pression décroît progressivement d'une extrémité à l'autre du tuyau. Cela indique évidemment que le mouvement du fluide est ici altéré par des causes dont la théorie précédente ne tient aucun compte, et qui cependant ne doivent pas être négligées. Comme l'on sait que le mouvement des liquides dans de longs tuyaux est modifié d'une manière analogue, et que les effets naturels sont représentés dans ce cas en admettant que la force qui retarde ce mouvement exerce une action dépendante de la vitesse du fluide et proportionnelle à l'étendue de la paroi du tuyau, il est naturel de supposer que le mouvement des fluides élastiques est altéré par une force de la même nature. Nous remarque-

rons seulement que, d'après les expériences faites sur l'écoulement de l'eau dans les tuyaux de conduite, il est nécessaire, pour représenter les résultats de ces expériences avec le degré d'exactitude que comportent les recherches de ce genre, de composer l'expression de la force dont il s'agit de deux termes, dont l'un contient la première, et l'autre la deuxième puissance de la vitesse d'écoulement du fluide; tandis qu'il paraît résulter des expériences faites sur l'écoulement des fluides élastiques, que l'expression de cette même force doit, dans les formules qui représentent les circonstances de cet écoulement, être réduite à un seul terme proportionnel à la deuxième puissance de la vitesse.

D'après cela, nous supposerons d'abord que le vase dans lequel s'écoule le fluide se réduit à un tuyau cylindrique horizontal (*fig.* 10); que la pression P subsiste constamment à la première section AB, et la pression P' à la dernière section CD; et appelant

Ω l'aire constante de la section du tuyau;
χ le contour de cette section;
D son diamètre;
x la distance $M\mu$ d'une section quelconque $\alpha\beta$ l'extrémité M;
λ la longueur totale MN du tuyau;
u la vitesse à la section quelconque $\alpha\beta$;
U la vitesse d'écoulement à la section extrême CD;
β un coefficeint dont la valeur numérique doit être déterminée de manière à satisfaire aux résultats des expériences,

nous admettrons que la tranche placée en $\alpha\beta$ est sollicitée en sens contraire de son mouvement

par une force exprimée par $\rho\chi dx . \mathcal{C} u^2$, la valeur de cette force étant supposée proportionnelle à la densité ρ du fluide, à l'aire χdx de la paroi dans la partie du tuyau occupée par la tranche, et au carré de la vitesse u. L'équation du mouvement de cette tranche sera donc

$$-\Omega dp = \rho\chi dx . \mathcal{C} u^2 + \rho\Omega dx \frac{du}{dt};$$

ou, parce que $p = k\rho$,

$$-k \frac{dp}{p} = \frac{\chi}{\Omega} dx . \mathcal{C} u^2 + dx \frac{du}{dt}; \quad (34)$$

équation qui remplace ici l'équation (5) du n°. 4. La section du vase étant constante, nous avons, au lieu des équations (6),

$$u = \frac{P'U'}{p}, \quad \frac{du}{dt} = -\frac{P'U}{p^2} \frac{dp}{dx} \frac{dx}{dt}.$$

Substituant ces valeurs dans l'équation (34), où l'on remplacera dx par udt et $\frac{\chi}{\Omega}$ par $\frac{4}{D}$, il viendra

$$-kpdp = \frac{4}{D} dx . \mathcal{C} P'^2 U^2 - P'^2 U^2 \frac{dp}{p}.$$

En intégrant on a

$$-\frac{1}{2} kp^2 = \frac{4}{D} x . \mathcal{C} P'^2 U^2 - P'^2 U^2 \log. p + const.$$

La constante se déterminera en remarquant qu'à la première section du tuyau, $x = 0$ et $p = P$; ce qui donne

$$\frac{1}{2} k (P^2 - p^2) = \frac{4x}{D} \mathcal{C} P'^2 + P'^2 U^2 \log. \frac{P}{p}; \quad (35)$$

et comme, à l'extrémité opposée, on a $x = \lambda$, $p = P'$, on déduit de cette équation

$$\frac{1}{2}k(P^2 - P'^2) = \frac{4\lambda}{D}6 P'^2 U^2 + P'^2 U^2 \log. \frac{P}{P'},$$

et par conséquent pour la vitesse à l'extrémité du tuyau par laquelle le fluide s'écoule

$$U = \sqrt{\frac{\frac{k}{2}\left(\frac{P^2}{P'^2} - 1\right)}{\frac{46\lambda}{D} + \log. \frac{P}{P'}}}. \qquad (36)$$

Le volume du fluide qui s'écoule dans l'unité de temps, mesuré sous la pression P', est égal au produit de cette vitesse par l'aire $\frac{\pi D^2}{4}$ de la section du tuyau. Par conséquent l'expression de ce volume, mesuré sous la pression P, qui a lieu dans le gazomètre, est

$$\frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{\frac{k}{2}\left(1 - \frac{P'^2}{P^2}\right)}{\frac{46\lambda}{D} + \log. \frac{P}{P'}}}. \qquad (37)$$

Si le rapport $\frac{\lambda}{D}$ de la longueur du tuyau à son diamètre est très grand, on pourra négliger dans les formules précédentes le terme du dénominateur qui ne contient pas ce rapport. On aura alors simplement

$$U = \sqrt{\frac{kD}{86\lambda}\left(\frac{P^2}{P'^2} - 1\right)}; \qquad (38)$$

et pour l'expression du volume de fluide dépensé

dans l'unité de temps, mesuré sous la pression qui a lieu dans le gazomètre,

$$\frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{kD}{8\mathfrak{b}\lambda}\left(1-\frac{P'^2}{P^2}\right)}. \qquad (39)$$

21. En éliminant U entre les équations (35) et (36), on trouvera

$$\frac{P^2-p^2}{P^2-P'^2}=\frac{\frac{4\mathfrak{b}x}{D}+\log.\frac{P}{p}}{\frac{4\mathfrak{b}\lambda}{D}+\log.\frac{P}{P'}}, \qquad (40)$$

équation qui donnera la valeur de la pression p, qui a lieu à la distance x de l'origine du tuyau dans le gazomètre. Cette valeur diminue progressivement, d'une extrémité à l'autre du tuyau, de la valeur P, qui a lieu dans le gazomètre, à la valeur P′, qui a lieu dans le milieu où le fluide s'écoule.

Si les longueurs désignées par x et λ sont assez grandes, par rapport au diamètre D, pour que l'on puisse négliger les termes $\log.\frac{P}{p}$ et $\log.\frac{P}{P'}$, l'équation précédente se réduira à

$$\frac{P^2-p^2}{P^2-P'^2}=\frac{x}{\lambda}, \text{ d'où } p=\sqrt{P^2-(P^2-P'^2)\frac{x}{\lambda}}; \qquad (41)$$

expression très simple, qui peut être employée pour déterminer la valeur de la pression dans les diverses parties d'un tuyau de conduite. On conclut de cette expression que si l'on traçait une courbe dont x représentât l'abscisse et p l'ordonnée, cette courbe, dont les ordonnées correspon-

dantes à $x=0$ et $x=\lambda$ seraient respectivement égales à P et P', présenterait dans l'intervalle sa concavité à l'axe des abscisses, toutes les ordonnées étant plus grandes que celles de la ligne droite qui réunirait les deux points extrêmes; mais la différence des ordonnées de la courbe et de la ligne droite est très petite, surtout lorsque la pression intérieure P surpasse peu la pression extérieure P'.

22. On peut remarquer ici qu'en supposant $\Omega=\Omega'$ dans la formule (8) du n°. 4, on trouve pour l'expression de la vitesse d'écoulement

$$U=\sqrt{\frac{2k\log.\frac{P}{P'}}{1-\frac{P'^2}{P^2}}},$$

expression qui convient à un tuyau d'une figure quelconque entre les deux sections extrêmes, pourvu que ces sections soient égales. Ce résultat paraît donc devoir s'appliquer au cas particulier d'un tuyau cylindrique assez court pour que l'on puisse faire abstraction de la résistance provenant du frottement du fluide contre la paroi. Cependant la formule (36) du n°. 20, obtenue en considérant directement ce dernier cas, a pour limite, lorsque λ devient de plus en plus petite, l'expression différente

$$U=\sqrt{\frac{\frac{k}{2}\left(\frac{P^2}{P'^2}-1\right)}{\log.\frac{P}{P'}}}.$$

Cette discordance indique que la considération

d'une force retardatrice, provenant du frottement du fluide contre la paroi, change essentiellement la nature du mouvement du fluide. En effet, dans le cas du n°. 4, la valeur de la pression dans le tuyau sera donnée par l'équation (12) du n°. 8, en y supposant $\omega = \Omega' = \Omega$. On sera toujours alors dans le cas de la *fig.* 3 (*voyez* ci-dessus n°. 8), ainsi qu'il est aisé de le reconnaître. La pression changera brusquement de grandeur dans la section AB (*fig.* 10) et sera, dans toute l'étendue du tuyau, égale à la pression extérieure P'. En considérant maintenant le cas du n°. 20, la valeur de la pression dans le tuyau sera donnée par la formule (41) du numéro précédent, formule qui indique que cette pression diminue progressivement d'une extrémité à l'autre du tuyau. Ainsi le fluide ne s'écoule pas dans les deux cas de la même manière, et il n'est pas étonnant que l'on obtienne pour chacune des expressions différentes de la vitesse.

Ces expressions s'accordent d'ailleurs à donner $U = \infty$ lorsque la pression P' est extrêmement petite par rapport à P. Les valeurs que l'on en déduit approchent aussi d'autant plus d'être identiques que la différence des pressions P, P' devient plus petite. En effet, supposant $P = P'(1 + \pi)$, π étant une très petite fraction, on a $\log. \frac{P}{P'} = \pi$, $\frac{P^2}{P'^2} = 1 + 2\pi$; et en substituant ces valeurs dans les deux formules précédentes, elles donneront respectivement

$$U = \sqrt{k(1+2\pi)},\ U = \sqrt{k}.$$

Ainsi les formules dont il s'agit coïncident dans

les deux cas extrêmes : les valeurs que l'on en déduit dans les cas intermédiaires diffèrent peu l'une de l'autre.

On voit d'ailleurs par ce qui précède que, dans l'écoulement par un tuyau cylindrique d'une petite longueur, la valeur de la vitesse, lorsque la différence des pressions extrêmes est très petite, ne dépend plus sensiblement des valeurs respectives de ces pressions, mais presque uniquement du rapport k de la force élastique à la densité du fluide.

23. Nous devons remarquer maintenant que la solution précédente ne pourrait pas être appliquée avec exactitude aux cas qui se présentent le plus fréquemment dans l'établissement des conduites d'air, ou des gaz servant à l'éclairage. En effet, les tuyaux de ces conduites ont leur point de départ dans un réservoir ou gazomètre d'un grand volume : le fluide s'y introduit ordinairement en subissant une contraction, et quelquefois il s'échappe à l'autre extrémité du tuyau par un orifice dont l'aire est plus petite que la section de ce tuyau. Pour avoir égard à ces diverses circonstances, on considérera un tuyau cylindrique horizontal E I K F (*fig.* 11) adapté à la paroi plane d'un réservoir, et terminé par l'orifice C D, dont l'entrée est évasée. La section A B du réservoir, dans laquelle la pression est P, sera toujours désignée par Ω, et la section C D de l'orifice d'écoulement où la pression est P', le sera toujours par Ω'. En supposant, comme dans le n°. 15, qu'à l'entrée du tuyau la veine de fluide, après s'être contractée en ef, se dilate instantanément en G H, nous désignerons par B et B' les pressions qui ont lieu respectivement dans les

sections ef et GH. Nous appellerons P, la pression qui aura lieu dans la section IK, qui forme l'extrémité du tuyau, et précède immédiatement l'orifice d'écoulement. En conservant d'ailleurs les dénominations précédentes, on verra 1°. que, pour avoir égard à la perte de force vive qui a lieu lorsque le fluide passe de la section ef à la section GH, il faudra ajouter au second membre de l'équation (17) du n°. 12 la quantité

$$\frac{P'}{k}\,\Omega'\,U\,dt\,.\,U^2\left(\frac{P'\,\Omega'}{B\,.\,m\omega}-\frac{P'\,\Omega'}{B'\omega}\right)^2,$$

où ω désigne l'aire des sections EF et GH, et $m\omega$ l'aire de la section ef; 2°. que pour tenir compte de la quantité d'action imprimée à chaque tranche du fluide contenu dans le tuyau, en sens contraire du mouvement de cette tranche, par la force retardatrice provenant du frottement sur la paroi, il faut ajouter au premier membre de la même équation la quantité

$$-2\int\frac{p}{k}\,\chi\,dx\,.\,\mathcal{C}\,u^2\,.\,udt,$$

où χ désigne le contour d'une section du tuyau. On aura donc ici pour l'équation du mouvement du fluide,

$$-k\int\omega\,dp\,.\,u\,dt=$$

$$\int p\chi dx\,.\,\mathcal{C}u^2\,.\,u\,dt+\int p\omega dx\,.\,udu$$

$$+P'\,\Omega'\,U\,dt\,.\,\frac{U^2}{2}\left(\frac{P'\,\Omega'}{Bm\omega}-\frac{P'\,\Omega'}{B'\,\omega}\right)^2;$$

ou, en divisant tous les termes par les facteurs égaux $p\omega u\,dt$, $P'\Omega' U\,dt$,

$$-k\int\frac{dp}{p}=\int\frac{\chi}{\omega}dx\,.\,\text{ϐ}u^2+\int udu+\frac{U^2}{2}\left(\frac{P'\Omega'}{Bm\omega}-\frac{P'\Omega'}{B'\omega}\right)^2. \quad (42)$$

L'intégrale $-\int\frac{dp}{p}$ doit être prise entre les sections extrêmes AB, CD, et sa valeur est log. $\frac{P}{P'}$. L'intégrale $\int udu$ doit aussi être prise entre les mêmes limites, et sa valeur est $\frac{U^2}{2}\left(1-\frac{P'^2\Omega'^2}{P^2\,\Omega^2}\right)$. Quant à l'intégrale $\int\frac{\chi}{\omega}dx\,.\,\text{ϐ}u^2$, qui revient à

$$\int\frac{\chi}{\omega}dx\,.\,\text{ϐ}\,\frac{P'^2\,\Omega'^2\,U^2}{p^2\,\omega^2},$$

et qui doit être prise dans toute l'étendue du tuyau, c'est à dire depuis $x=0$ jusqu'à $x=\lambda$, on peut regarder sous le signe $\int$ les quantités ω et χ comme constantes, mais non pas la pression p, qui varie, entre les sections GH et IK, de la valeur B' à la valeur P_1. On ne connaît pas exactement la loi de cette variation ; mais il est visible que l'on ne peut commettre qu'une faible erreur en la supposant donnée par l'équation (41), qui a été obtenue dans la supposition où le vase se réduirait à un tuyau cylindrique, aux deux extrémités duquel étaient maintenues deux pres-

sions données. Nous supposerons donc dans l'intégrale dont il s'agit

$$p = \sqrt{B'^2 - (B'^2 - P_1^2)\frac{x}{\lambda}};$$

ce qui la changera en

$$\int \frac{\chi}{\omega} \cdot \frac{dx}{B'^2 - (B'^2 - P_1^2)\frac{x}{\lambda}} \cdot \frac{\zeta P'^2 \Omega'^2 U^2}{\omega^2},$$

dont la valeur, entre les limites indiquées ci-dessus, est

$$\frac{\zeta\lambda\chi}{\omega} \cdot \frac{P'^2\Omega'^2 U^2}{(B'^2 - P_1^2)\,\omega^2} \cdot 2 \log. \frac{B'}{P_1}.$$

D'après cela, l'équation (42) deviendra

$$(43) \qquad 2\,k \log. \frac{P}{P'} =$$

$$U^2\left[\frac{2\zeta\lambda\chi}{\omega}\cdot\frac{P'^2\Omega'^2}{(B'^2-P_1^2)\omega^2}\cdot 2\log\frac{B'}{P_1} + 1 - \frac{P'^2\Omega'^2}{P^2\Omega^2} + \left(\frac{P'\Omega'}{B.\,m\omega} - \frac{P'\Omega}{B'\,\omega}\right)^2\right],$$

où ω et χ désignent respectivement l'aire et le contour de la section constante du tuyau.

Cette équation servirait à déterminer la vitesse d'écoulement U, si les pressions B, B' et P_1, qui ont lieu respectivement dans les sections *ef*, GH et IK, étaient connues. Pour déterminer ces pressions, on remarquera, comme dans le n°. 13, que la valeur de la pression doit être donnée, dans l'intervalle E*ef* F, par l'équation (42), en supprimant dans le second membre les termes relatifs à l'effet du frottement sur les parois, et à la perte de force vive qui a lieu après la section *ef*, et en prenant les intégrales depuis la section AB

jusqu'à la section pour laquelle la pression doit être calculée. On a donc, dans l'intervalle dont il s'agit (ω désignant la section quelconque pour laquelle la pression est calculée),

$$2k \log. \frac{P}{p} = U^2 \left(\frac{P'^2 \Omega'^2}{p^2 \omega^2} - \frac{P'^2 \Omega'^2}{P^2 \Omega^2} \right). \quad (44)$$

Quant à l'intervalle compris entre les sections GH et CD, on emploiera l'équation (43) en prenant les intégrales depuis la section AB jusqu'à la section $\alpha\beta$, pour laquelle on veut calculer la pression ; ce qui donnera

$$(45) \qquad 2k \log. \frac{P}{p} =$$

$$\left[\frac{2\beta\lambda\chi}{\omega} \cdot \frac{P'^2 \Omega'^2}{(B'^2 - P_1{}^2)\omega^2} \log. \frac{B'^2}{B'^2 - (B'^2 - P_1{}^2)\frac{x}{\lambda}} + \frac{P'^2 \Omega'^2}{p^2 \omega^2} - \frac{P'^2 \Omega'^2}{P^2 \Omega^2} \right.$$
$$\left. + \left(\frac{P'\Omega'}{B \,.\, m\omega} - \frac{P'\Omega'}{B'\omega^2} \right)^2 \right].$$

On aurait la pression dans la section ef en mettant dans l'équation (44) pour ω la valeur qui convient à l'aire de cette section. Cette aire est $m\omega$, si nous continuons à désigner par ω la section constante du tuyau. La pression dans la section ef ayant été désignée par B, on a donc

$$2k \log. \frac{P}{B} = U^2 \left(\frac{P'^2 \Omega'^2}{B^2 \,.\, m^2 \omega^2} - \frac{P'^2 \Omega'^2}{P^2 \Omega^2} \right). \quad (46)$$

De même l'équation (45) doit donner la pression B', qui a lieu dans la section GH, lorsque l'on fera $x = 0$ dans le terme relatif à l'effet du frottement sur la paroi ; et la pression P_1, qui a lieu dans la section IK, quand on fera $x = \lambda$ dans

ce même terme. Ainsi l'on a encore les deux équations

$$2k\log.\frac{P}{B'}=U^2\left[\frac{P'^2\Omega^2}{B'^2\omega^2}-\frac{P'^2\Omega'^2}{P^2\Omega^2}+\left(\frac{P'\Omega'}{B.m\omega}-\frac{P'\Omega'}{B'\omega}\right)^2\right], (47)$$

$$(48)\qquad 2k\log.\frac{P}{P_1}=$$

$$U^2\left[\frac{2\mathfrak{C}\lambda\chi}{\omega}.\frac{P'^2\Omega'^2}{(B'^2-P_1{}^2)\omega}.2\log.\frac{B'}{P}+\frac{P'^2\Omega'^2}{P_1{}^2\omega^2}-\frac{P'^2\Omega'^2}{P^2\Omega^2}+\left(\frac{P'\Omega'}{B.m\omega}-\frac{P'\Omega'}{B'\omega}\right)^2\right].$$

En réunissant à l'équation (43) les équations (46), (47) et (48), on aura ce qui est nécessaire pour déterminer les quatre quantités inconnues U, B, B' et P_1.

24. Dans les expériences connues, et dans la plupart des applications qui pourront se présenter, l'excès de la pression intérieure P sur la pression extérieure P' est une quantité fort petite par rapport à la valeur de ces pressions. De plus l'aire ω de la section de la conduite est fort petite par rapport à l'aire Ω de la section du réservoir qui fournit à la dépense. Nous négligerons, par cette raison, le terme qui contient Ω^2 au dénominateur, et nous supposerons $P=P'(1+\pi)$, $B=P'(1+\varepsilon)$, $B'=P'(1+\varepsilon')$, $P_1=P'(1+\pi_1)$, en désignant par π, ε, ε'. π_1, des fractions très petites, dont on peut négliger le carré et les puissances supérieures. Les équations (46), (47), (48) et (43) deviendront alors

$$\varepsilon) = \frac{U^2\Omega'^2}{\omega^2} \cdot \frac{1-2\varepsilon}{m^2},$$

$$\varepsilon') = \frac{U^2\Omega'^2}{\omega^2}\left[1-2\varepsilon'+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2-2\left(\frac{1}{m}-1\right)\left(\frac{\varepsilon}{m}-\varepsilon'\right)\right],$$

$$\pi_1) = \frac{U^2\Omega'^2}{\omega^2}\left[1-2\pi_1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2-2\left(\frac{1}{m}-1\right)\left(\frac{\varepsilon}{m}-\varepsilon'\right)+\frac{2\beta\lambda\chi}{\omega}\right],$$

$$k\pi = \frac{U^2\Omega'^2}{\omega^2}\left[\frac{\omega^2}{\Omega'^2}+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2-2\left(\frac{1}{m}-1\right)\left(\frac{\varepsilon}{m}-\varepsilon'\right)+\frac{2\beta\lambda\chi}{\omega}\right];$$

et l'on en déduit

$$-\varepsilon = \frac{\pi}{\left[\frac{2\beta\lambda\chi}{\omega}+\frac{\omega^2}{\Omega'^2}+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2\right]m^2}, \qquad (49)$$

$$-\varepsilon' = \frac{\pi\left[1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2\right]}{\frac{2\beta\lambda\chi}{\omega}+\frac{\omega^2}{\Omega'^2}+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}, \qquad (50)$$

$$\pi_1 = \pi_1 \frac{\frac{2\beta\chi\lambda}{\omega}+1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}{\frac{\omega^2}{\Omega'^2}-1}, \qquad (51)$$

$$U = \frac{\omega}{\Omega'}\sqrt{\frac{2k\pi}{\frac{2\beta\lambda\chi}{\omega}+\frac{\omega^2}{\Omega'^2}+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}}, \qquad (52)$$

équations au moyen desquelles on pourra calculer la vitesse d'écoulement et les pressions dans les diverses parties du tuyau.

25. Les premières recherches expérimentales connues sur l'écoulement des fluides élastiques,

qui présentent les élémens nécessaires pour vérifier la théorie précédente et déterminer la valeur du coefficient $\mathfrak{C}$, sont celles qui ont été faites par M. Girard, membre de l'Académie des sciences de l'Institut, et dont les résultats sont consignés dans le tome V (1821-1822) des *Mémoires de l'Académie*. Ces expériences consistaient dans l'observation du volume de fluide qui s'écoulait, dans un temps donné, par un tuyau de conduite partant d'un gazomètre, et entièrement ouvert à son extrémité. Pour appliquer à ce cas l'expression (52), il faut d'abord supposer $\omega = \Omega'$, puis remarquer que la longueur de la conduite étant fort grande par rapport à son diamètre, on peut négliger, dans le dénominateur de la fraction qui est sous le radical, les deux derniers termes. On aura ainsi

$$U = \sqrt{\frac{k \cdot D\pi}{4\mathfrak{C}\lambda}},$$

pour l'expression de la vitesse d'écoulement à l'extrémité du tuyau, le diamètre de la conduite étant représenté par D. Pour avoir le volume de fluide écoulé dans l'unité de temps, ce volume étant mesuré dans le gazomètre, il faudra multiplier l'expression précédente par l'aire de la section du tuyau, et par le rapport $\frac{P'}{P}$ des pressions extérieure et intérieure. On aura donc pour le volume dont il s'agit, en mettant pour π sa valeur $\frac{P - P'}{P'}$,

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{P'}{P} \sqrt{\frac{k D}{4\mathfrak{C}\lambda} \frac{P - P'}{P'}}. \quad (53)$$

Nommons ζ la hauteur de la colonne de fluide,

considéré sous la pression P', dont le poids pourrait produire l'excès $P - P'$ de la pression qui a lieu dans le gazomètre sur la pression extérieure : on aura $g\frac{P'}{k}\zeta = P - P'$, et par conséquent $k = g\zeta\frac{P'}{P - P'}$. Ainsi la formule précédente peut se mettre sous la forme

$$\frac{\pi D}{4}\frac{P'}{P}\sqrt{\frac{gD\zeta}{4\beta\lambda}}.$$

M. Girard a montré que les résultats de ses expériences étaient représentés en prenant pour l'expression de la dépense du gazomètre dans l'unité de temps la formule

$$\frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{gD\zeta}{4\beta\lambda}},$$

qui diffère seulement de la précédente en ce que le rapport $\frac{P'}{P}$ y est remplacé par l'unité. Il est évident que cette différence n'altère point la nature de l'expression dont il s'agit, et qu'il en résulte seulement que les valeurs de β déterminées par l'auteur doivent, pour concorder avec la théorie précédente, être multipliées par $\frac{P'^2}{P^2}$.

Dans toutes les expériences de M. Girard, l'excès de la pression qui avait lieu dans le gazomètre sur la pression extérieure était mesuré par une colonne d'eau de $0^{m},03383$ de hauteur. Cet excès est assez petit pour que la différence du rapport $\frac{P}{P^2}$ à l'unité soit au dessous de $\frac{7}{1000}$. On peut

donc négliger ici la modification qui devrait être faite dans d'autres cas aux valeurs de $\mathcal{C}$. Ces valeurs sont portées dans le tableau suivant :

NATURE DU FLUIDE.	Diamètr. des tuyaux.	Long. des tuyaux.	Valeurs de $\mathcal{C}$.	Valeurs moyennes de $\mathcal{C}$.
	Mètres.	Mètres.		
Air atmosphérique.....	0,08121	128,8	0,005579	
		375,8	0,005309	0,005621
		622,8	0,005975	
Gaz hydrogène carboné.	......	128,8	0,005516	
		375,8	0,005339	0,005636
		622,8	0,005854	
Air atmosphérique.....	0,01579	36,91	0,003307	
		55,91	0,002804	
		88,06	0,002977	0,003126
		111,24	0,003317	
		37,53	0,003279	
		56,84	0,002992	
		85,06	0,002879	
		109,04	0,00343	0,003246
		126,58	0,003362	
		6,58	0,003486	
		37,53	0,003182	
		56,84	0,003032	
		85,06	0,003067	0,003219
		109,0	0,003503	
		126,58	0,003314	

On peut conclure de ces résultats que les lois

de l'écoulement d'un fluide élastique sont exactement représentées, pour un tuyau d'un diamètre donné, par la formule (53), lorsque cet écoulement s'opère sous une faible charge. Il paraît de plus que la nature de ce fluide n'apporte aucun changement dans la valeur de la constante $\mathfrak{C}$. Mais les expériences dont il s'agit indiquent des valeurs différentes pour cette constante, suivant qu'on a employé une conduite de $0^{m}.08121$ de diamètre, ou une conduite beaucoup plus petite dont le diamètre était seulement de $0^{m},01579$. On verra plus loin qu'il y a lieu de penser que cette différence dans les valeurs de $\mathfrak{C}$ ne doit pas être considérée comme annonçant un défaut dans la théorie, et qu'on doit plutôt l'attribuer à quelque obstacle au mouvement du fluide qui avait lieu dans la première conduite.

26. On trouve dans les *Annales des Mines*, 2e. série, 3e. livraison, d'autres expériences très nombreuses sur le mouvement de l'air dans les conduites, faites en 1823 par M. d'Aubuisson. Dans quelques unes la conduite était entièrement ouverte à son extrémité; d'autres fois cette conduite était en partie fermée, le fluide s'écoulant par des orifices coniques d'un plus petit diamètre, adaptés à la conduite. On observait les hauteurs de plusieurs manomètres placés dans divers points de la conduite; et particulièrement des manomètres extrêmes, placés l'un sur la cuve de la machine soufflante dans laquelle la conduite prenait naissance, l'autre à l'extrémité de cette conduite, immédiatement avant la buse à laquelle l'orifice d'écoulement était adapté. On n'avait pas les moyens, dans les expériences dont il s'agit, de connaître avec une exactitude suffisante les

28.

quantités d'air dépensées dans un temps donné; mais lorsqu'on opérait sur une conduite en partie fermée à l'extrémité, l'observation simultanée des manomètres placés au point de départ et à l'extrémité de la conduite, au devant de l'orifice d'écoulement, pouvait suppléer à la connaissance de la dépense, et donner les moyens de déduire de l'observation la détermination du coefficient inconnu désigné $\mathcal{C}$. En effet, soient H et H_1 les hauteurs de deux manomètres qui mesurent l'excès des pressions intérieures désignées ci-dessus par P et P_1 sur la pression extérieure désignée par P'. Il est évident que les hauteurs H et H_1 seront entre elles dans le même rapport que les fractions représentées ci-dessus par π et π_1. On pourra donc écrire, au lieu de l'équation (51) du n°. 24,

$$H - H_1 = H_1 \frac{\frac{2\mathcal{C}\lambda\chi}{\omega} + 1 + \left(\frac{1}{m} - 1\right)^2}{\frac{\omega^2}{\Omega'^2} - 1};$$

et si la longueur du tuyau est fort grande par rapport à son diamètre,

$$H - H_1 = H_1 \frac{\frac{2\mathcal{C}\lambda\chi}{\omega}\frac{\Omega'^2}{\omega^2}}{1 - \frac{\Omega'^2}{\omega^2}} \qquad (54)$$

d'où l'on déduit, en nommant D le diamètre de la section ω du tuyau, et D' le diamètre de la section Ω' de l'orifice,

$$8\mathcal{C} = \frac{H - H_1}{H_1}\frac{D^5}{\lambda D'^4}\left(1 - \frac{D'^4}{D^4}\right). \qquad (55)$$

Les équations (54) et (55) sont semblables à celles que M. d'Aubuisson a employées pour le calcul de ses expériences, et que l'on peut voir, page 424 de la livraison des *Annales des Mines* citée ci-dessus. Elles diffèrent seulement de ces dernières par le facteur $1-\frac{\Omega'^2}{\omega^2}$, ou $1-\frac{D'^4}{D^4}$, qui se trouve ici dans le second membre, et qui a été omis par cet habile ingénieur. Toutefois la nécessité de l'existence de ce facteur dans les équations dont il s'agit paraîtra certaine, si l'on remarque qu'en supposant la conduite entièrement ouverte à son extrémité, ou $\Omega'=\omega$, on doit avoir $H_1=0$, condition à laquelle les équations précédentes cesseraient de satisfaire si le dénominateur $1-\frac{\Omega'^2}{\omega^2}$ était supprimé.

Il est évident d'ailleurs que, si l'entrée de l'orifice d'écoulement Ω' n'était pas évasée, en sorte qu'il y eût une contraction extérieure, il faudrait multiplier Ω' par le coefficient que nous avons désigné par m dans le n°. 10 et suivans.

Dans les expériences de M. d'Aubuisson, l'orifice d'écoulement était formé par de petits cônes adaptés à l'extrémité d'une buse. L'angle compris entre l'arête et l'axe de ces cônes était fort petit, et l'on peut négliger ici la contraction extérieure. Néanmoins le mouvement de l'air, lorsqu'il sortait du tuyau par un ajutage de ce genre, était nécessairement altéré, et l'on peut avoir égard à cette altération, en la considérant, d'après les expériences rapportées n°. 17, comme produisant un effet équivalent à peu près à la diminution de l'aire de l'orifice dans le rapport de 0,94 à l'unité, lorsque la longueur de l'ajutage est un peu plus grande que le diamètre moyen,

comme cela avait effectivement lieu. D'après cela, l'équation (55) deviendra

$$8\zeta = \frac{H - H_1}{H_1} \frac{D^5}{\lambda (0,94)^2 D'^4} \left(1 - (0,94)^2 \frac{D'^4}{D^4}\right);$$

et comme M. d'Aubuisson a employé l'équation

$$8\zeta = \frac{H - H_1}{H_1} \frac{D^5}{\lambda D'^4},$$

il s'ensuit que les valeurs consignées dans les tableaux des pages 425 et 426 de son Mémoire conviendront à la théorie précédente en les multipliant par la quantité

$$\frac{1}{(0,94)^2} - \frac{D'^4}{D^4}.$$

Le tableau suivant contient les résultats de cette modification.

Diamètres des conduites D.	Diamètres des orifices D'.	Premières valeurs de 8ζ.	Secondes valeurs de 8ζ.
Mètre.	Mètre.		
0,10	0,05	0,0222	0,02374
	0,04	0,021	0,02323
	0,03	0,0221	0,02483
	0,02	0,02	0,02260
0,05	0,03	0,0232	0,02325
	0,02	0,0248	0,02743
0,0235	0,02	0,0248	0,01506

La colonne intitulée premières valeurs de 8ζ présente les résultats moyens calculés par M. d'Aubuisson. La colonne suivante présente les mêmes

résultats modifiés de la manière qui vient d'être expliquée. Le dernier diffère beaucoup de la valeur moyenne : on peut remarquer qu'ici le diamètre de l'orifice différant très peu de celui de la conduite, la hauteur H_1 du manomètre placé au devant de l'orifice était fort petite ; et qu'une petite erreur absolue sur la hauteur de ce manomètre produisait par conséquent une grande erreur relative sur la valeur correspondante de 8β. En excluant par ce motif cette dernière valeur, on trouvera 0,0222 pour la moyenne des valeurs données par M. d'Aubuisson, et 0,0242 pour la moyenne de ces valeurs modifiées. Le résultat de cette modification est donc d'augmenter les valeurs adoptées par l'auteur dans le rapport $\frac{121}{111}$. On peut voir, pages 428 et 429 du Mémoire dont il s'agit, les raisons d'après lesquelles M. d'Aubuisson a adopté pour le coefficient la valeur 0,0238 : nous devons ici adopter le même nombre multiplié par le rapport précédent, c'est à dire que nous supposerons

$$8\beta = 0{,}02594, \text{ et par conséquent } \beta = 0{,}00328.$$

Ce résultat ne diffère pas sensiblement des valeurs données par les expériences de M. Girard sur la petite conduite de 0m,01579. L'accord de ces nombres obtenus par des procédés d'une nature différente ne permet pas de douter que l'on ne représente les effets naturels avec une assez grande exactitude, en admettant la théorie précédente, et en attribuant à la constante β la valeur moyenne

$$\beta = 0{,}00324 :$$

on doit présumer qu'il y avait quelque obstacle au mouvement de l'air dans les expériences que M. Girard a faites sur la conduite de $0^m,0812$. On ne doit pas se dissimuler d'ailleurs que les expériences qui ont été faites jusqu'ici, quoique fort précieuses, ne peuvent être considérées comme étant suffisantes pour faire connaître avec la précision désirable l'expression de la résistance qui retarde le mouvement de l'air dans les tuyaux de conduite. Il sera nécessaire d'en faire d'autres où l'on ait soin de varier davantage le diamètre et la substance des tuyaux, et qui soient disposés de manière que les petites erreurs inévitables dans les observations n'aient que peu d'influence sur les conclusions que l'on doit en tirer. C'est par cette raison que l'on ne s'est point attaché dans ce Mémoire à interpréter, avec autant de détail et de soin que cela pouvait se faire, les résultats des expériences connues : on a voulu seulement en déduire des aperçus propres à faire juger approximativement jusqu'à quel point la théorie pouvait s'accorder avec les effets naturels, et en donner une image fidèle.

27. En résumant ce qui précède, et remarquant qu'en désignant toujours par H la hauteur du manomètre qui mesure l'excès de la pression qui a lieu dans le gazomètre où le tuyau prend naissance, sur la pression atmosphérique, et par h la hauteur du baromètre qui mesure cette dernière pression, on a $\frac{P - P'}{P'} = \pi = \frac{H}{h}$; on voit que le volume d'air qui s'écoule dans une seconde par un tuyau qui prend naissance dans un gazomètre, et qui est terminé par un orifice plus petit que la section de ce tuyau, ce volume étant

mesuré dans le gazomètre, est exprimé par la formule

$$\frac{\pi D^2}{4}\cdot\frac{H}{h+H}\sqrt{\frac{2k}{\frac{8\text{б}\lambda}{D}+\frac{D^4}{D'^4}+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}\cdot\frac{H}{h}}. \quad (56)$$

D représente le diamètre du tuyau, D' le diamètre de l'orifice par lequel ce tuyau est terminé, et d'où s'écoule le fluide. On suppose que la paroi est évasée à l'entrée de cet orifice, comme l'indique la *fig.* 11 : autrement, si la paroi avait une forme telle que l'écoulement du fluide fût retardé et diminué dans le rapport de la fraction m' à l'unité, il faudrait écrire $m'^2 D'^4$ au lieu de D'^4. La longueur du tuyau est désignée par λ. La fraction m représente le rapport suivant lequel la veine se contracte, lorsque le fluide entre dans le tuyau en sortant du réservoir. k est un coefficient dont la valeur varie pour chaque fluide et dépend de la température : cette valeur doit être calculée dans chaque cas particulier, conformément à ce qu'on a vu dans la note du n°. 4. Enfin б est une constante dont la valeur est à peu près égale à 0,00324, le mètre et la seconde sexagésimale étant pris pour unités. La hauteur H du manomètre est supposée fort petite par rapport à la hauteur h du baromètre.

Si le tuyau est ouvert à l'extrémité par laquelle le fluide s'écoule, la formule se réduit à

$$\frac{\pi D^2}{4}\cdot\frac{H}{h+H}\sqrt{\frac{2k}{\frac{8\text{б}\lambda}{D}+1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}\cdot\frac{H}{h}}; \quad (57)$$

et enfin si la longueur du tuyau est très grande

par rapport à son diamètre, on a simplement, dans ce dernier cas, pour l'expressiou du volume dont il s'agit,

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{H}{h + H} \sqrt{\frac{k D}{4\lambda \varepsilon} \frac{H}{h}} \qquad (58)$$

Pour appliquer ces formules avec exactitude, il faut tenir compte, dans chaque cas particulier, de l'observation du baromètre extérieur et de la température. Si l'on néglige ces observations, et si l'on adopte des termes moyens pour la hauteur du baromètre, désignée par h, et pour la valeur du coefficient k qui dépend de la température, les formules précédentes différeront peu de celles qui ont été données par M. d'Aubuisson, dans le Mémoire déjà cité.

On trouve dans ce Mémoire d'autres expériences très utiles sur l'effet des coudes pour retarder le mouvement de l'air dans les tuyaux de conduite. Un coude angulaire, tel que ceux des tuyaux observés par M. d'Aubuisson, peut être regardé comme produisant un changement fini dans la valeur de la vitesse, semblable à celui qui résulte du passage du fluide au travers d'un étranglement, et par l'effet duquel les pressions et les densités subissent également un changement fini. On conçoit d'après cela que l'interprétation de ces expériences et la recherche, à l'aide des résultats qu'elles ont donnés, de la manière dont le changement de la vitesse et de la pression dépend de la grosseur du tuyau et de l'angle du coude ne comportent que des opérations analogues à celles qui ont été faites dans le n°. 23 et suivans.

NOTE

Sur la température souterraine aux États-Unis d'Amérique;

Par M. L. CORDIER.

Nous ne possédons qu'une expérience relativement à la loi que suit aux États-Unis l'accroissement que la chaleur souterraine éprouve dans l'intérieur du globe, à raison des profondeurs. L'auteur de cette précieuse expérience, madame Mary Griffith, qui cultive les sciences avec une grande distinction à New-Brunswick, m'a écrit il y a quelque temps pour m'informer que ce qu'on a publié à ce sujet devait être rectifié. Voici les expressions de sa lettre, datée de Charlieshope, New-Brunswick, New-Jersey, 11 juillet 1829:

« M...., une inexactitude grave s'est glissée » dans les observations que M. le professeur » Hitchcock a exposées à la suite de sa traduc- » tion de votre travail sur la température de la » terre. M. Hitchcock dit qu'au rapport du *Jour-* » *nal des Sciences américain*, rédigé par M. Silli- » man, des expériences ont été récemment faites » à New-Brunswick (New-Jersey) sur la tempéra- » ture des eaux souterraines, et qu'à la profon- » deur de 250 pieds (anglais) la température » d'une source rencontrée par la sonde a été de » 52 degrés (Fahrenheit), tandis que celle d'une » autre source qui a jailli du même trou, à la » profondeur de 394 pieds, était de 54 degrés; ce » qui donne un accroissement de chaleur d'un » degré pour une profondeur de 72 pieds. M. le

» professeur Hitchcock ajoute : *Puisque, d'après » la théorie de M. Cordier, le climat des différens » pays est en rapport avec l'épaisseur de l'écorce » de la terre, et que le climat d'Amérique est aux » mêmes latitudes plus froid que celui de l'Europe, » il devait s'ensuivre que l'augmentation de la » chaleur souterraine serait moindre aux États- » Unis que dans cette dernière partie du globe.* » L'exposé du fait isolé sur lequel cette consé- » quence repose a besoin d'être rectifié. Il fal- » lait dire 294 pieds au lieu de 394, et conclure » que l'accroissement de chaleur est d'un degré » (Fahr.) pour 22 pieds de profondeur, au lieu de » 72. C'est moi-même qui ai fait cette expérience » et qui l'ai décrite. M. Disbrow (qui a fourni à » M. Silliman la notation qui doit être rectifiée) » n'était que l'artiste qui a mis en œuvre la ma- » chine à forer. Le puits dont il est question est » situé sur ma ferme, et ce fut pendant la durée » de l'opération que je changeai d'opinion sur la » théorie que Halley a donnée relativement à » l'origine des sources (1). »

L'observation de madame Griffith, ainsi rétablie, paraîtra sans doute intéressante à tous égards. Traduits en mesures françaises, les nombres obtenus donnent un accroissement progressif d'un degré centigrade pour 12 mètres de profondeur. A la vérité, ce résultat ne doit pas être pris au pied de la lettre, puisque les notations ont été

(1) Les recherches et les opinions de madame Griffith sur cette matière importante sont consignées dans un petit ouvrage qu'elle a publié sans nom d'auteur, sous le titre suivant : *An essay on the art of boring the earth for the obtainment of a spontaneous flow of water with hints towards forming a new theorie for the rise of waters.*

recueillies sur des filets d'eau dont la température ne représentait vraisemblablement pas d'une manière exacte et absolue celle des zones de terrain dans lesquelles on les a rencontrés; toujours est-il que l'on peut conclure que, dans cette partie de l'Amérique, la chaleur souterraine croît rapidement avec les profondeurs, et qu'il est probable que la loi de cet accroissement se rapproche plutôt des *maxima* observés en Europe que des *minima*. J'ajouterai que ceci n'est point en contradiction avec la différence qui existe entre le climat des parties de l'Amérique septentrionale et de l'Europe, qui sont situées aux mêmes latitudes; car, à latitudes égales, les climats dépendent en très grande partie des causes extérieures, et la puissance de ces causes à la surface de certains pays peut être telle qu'elle diminue de beaucoup l'influence fondamentale et continuelle d'une température souterraine assez élevée pour que la loi de son accroissement dans la profondeur suive une progression rapide.

MÉMOIRE

Sur un gisement de blende dans le département du Gard, et sur la possibilité d'en tirer parti ;

Par M. VARIN, Ingénieur au Corps royal des Mines.

Dans la formation de calcaire secondaire qui recouvre la pente sud-ouest du massif de montagnes primitives du centre de la France, et décrite par M. Dufrénoy, ingénieur des mines, dans une suite de mémoires insérés dans les *Annales des mines*, sous le nom de calcaire à bélemnites, et faisant partie du lias, on trouve dans un grand nombre de localités, comme l'indique l'auteur de ces mémoires, des minérais de plomb et de zinc mélangés.

Un des gisemens les plus considérables de blende se trouve dans le département du Gard, sur le territoire des communes de Robiac et de Meirane. Il m'a été indiqué par le sieur Pouff, ancien mineur saxon, directeur des mines de houille de Robiac.

Près du hameau de Clairac, situé dans la vallée de la Cèze, on voit les affleuremens de trois filons puissans de blende dans le calcaire qui recouvre immédiatement le terrain houiller, et dont on voit à peu de distance et sur plusieurs points la séparation.

Leur direction est à peu près du nord au sud ; ils sont verticaux et paraissent couper à angle droit les couches du calcaire. Néanmoins, il reste quelque incertitude à cet égard ; car dans le voisinage

des filons, le calcaire n'a pas de stratification distincte, et ce n'est en général qu'à 50^{m}. du toit ou du mur que les couches reprennent leur régularité. A cette distance, dans des couches bien suivies et à peu près horizontales, on trouve quelques gryphites dépourvues de silice.

L'un de ces filons, qui paraît le principal, a une puissance de 0^{m},15 à 0^{m},50 et même plus ; sa richesse est variable. La blende est en masse lamelleuse, d'un brun tirant au jaune, translucide quand elle est en écailles minces, et souvent accompagnée de traces de galène. Elle se trouve peu disséminée ; elle est agglomérée en une, ou, au plus, deux veines, qui, souvent, forment toute l'épaisseur du filon, dont la puissance est quelquefois, dans ce cas, de 0^{m},40. D'autres fois, et plus ordinairement, la gangue en occupe une partie de l'épaisseur ; c'est de la chaux carbonatée lamelleuse blanche, avec de grands et nombreux fragmens du calcaire environnant.

Les salbandes sont ocreuses, mais souvent elles manquent, et il y a continuité entre le calcaire du filon et celui du toit et du mur. Dans ces parties-là, le filon est constamment plus pauvre et la blende plus disséminée.

Les deux autres filons sont à une distance d'environ 4^{m}. à droite et à gauche du premier, et présentent les mêmes apparences, seulement la veine de blende n'a que 0^{m},10 à 0^{m},15 de puissance; mais souvent, et surtout dans les élargissemens, la blende est remplacée par de la calamine en masse rougeâtre, cariée, dont les cavités sont tapissées de petits cristaux. Ce changement se présente aussi dans le premier filon, mais moins fréquemment.

On verra aussi que la blende des deux derniers filons se comporte un peu différemment de celle du premier dans quelques essais métallurgiques.

On peut suivre l'affleurement de ces filons sur une étendue d'une centaine de mètres, en descendant vers la rivière de Cèze ; au delà, ils sont couverts par le sol d'alluvion. En remontant, au contraire, on ne les suit que pendant 30 ou 40^{m}. ; ils se réunissent et se séparent ; puis, enfin, on les perd dans les vignes qui forment la partie supérieure du coteau.

Persuadé qu'ils devaient se retrouver sur l'autre côté de la vallée, j'ai suivi la direction de l'affleurement qui coupe obliquement la Cèze, et je les ai, en effet, rencontrés à peu près sur la même direction, à 1000^{m}. de distance : là, ils sont plus nombreux et beaucoup plus pauvres. En faisant quelques travaux de recherche, par tranchées et galeries, on a compté sur le coteau de Perret au moins cinq filons distincts, qui contiennent proportionnellement plus de calamine que ceux de Clairac.

Enfin, pour achever la description du gisement, on a trouvé sur une colline calcaire, au dessus du village de Robiac, une couche horizontale de calcaire, dans laquelle courent des veines de blende et de calamine; elle a 0^{m},20 à 0^{m},25 de puissance, et le minérai y est rare.

Ayant eu occasion de visiter avec M. de Villeneuve, ingénieur des mines, l'usine à zinc de Kloster, décrite par lui dans les *Annales des Mines*, tome IV, 2e. série, j'ai pensé qu'il était possible d'utiliser ce minérai, et, d'après mon avis,

M. Deveau, propriétaire des mines de houille de Robiac, en a fait la demande en concession au commencement de 1829. Il a mis à ma disposition des ouvriers, un emplacement et du combustible, et j'ai commencé la série suivante d'essais.

Extraction du minérai.

On a attaqué deux des filons de Clairac par tranchée ouverte dans le flanc de la montagne, à l'extrémité visible de l'affleurement, et on a percé un puits de 4^{m}. environ là où l'affleurement n'était plus visible. On n'a point poussé de galerie de niveau, à cause de la faible pente de la montagne. Ces travaux ont fait reconnaître les filons sur une longueur d'environ 15^{m}. sur 6^{m}. de profondeur. La constance du gîte s'est bien maintenue avec les circonstances indiquées plus haut.

On a extrait environ 300 quintaux métriques de blende. Le triage n'a offert aucune difficulté, d'autant plus qu'on avait surtout pour but de se procurer de la blende pour essais métallurgiques, et qu'on a préféré constamment l'extraction la plus facile.

D'après l'ensemble des travaux exécutés, on ne peut conclure avec précision le prix d'extraction du minérai, à cause de leur peu d'étendue et de leur nature particulière; cependant, comme une galerie a coûté 25 fr. le mètre d'avancement dans ce calcaire, on peut croire que le quintal métrique de blende triée ne reviendra pas à plus de 2 fr. et peut-être moins.

Le minérai trié a été transporté à la mine de houille de Robiac, lieu destiné aux essais, distant d'environ 4000^{m}.

Grillage.

Le minérai, cassé à la main en morceaux d'en-

viron $0^m,05$ de côté, a été stratifié avec de menue houille dans un four de grillage conique d'environ 1^m. de haut sur 1^m. d'ouverture à la partie supérieure.

On a mis le feu, et au bout de vingt-quatre heures on a essayé de retirer du minérai par la partie inférieure; la blende avait, à l'extérieur, la couleur jaune citron particulière à l'oxide de zinc chauffé au rouge; mais le grillage n'avait pénétré qu'à 3 ou 4 millimètres.

Au bout de quarante-huit heures, le grillage était loin d'être complet : de plus, il se volatilisait une assez grande quantité d'oxide de zinc, sans doute à cause du contact immédiat du combustible.

Quand le four fut échauffé, on diminua la charge de houille, et on abandonna l'opération à elle-même. Ce ne fut qu'après la disparition de la houille, et lorsque la combustion ne fut plus alimentée que par le soufre et le zinc du minérai, que l'odeur de l'acide sulfureux devint pénétrante, et qu'il s'en dégagea assez pour nuire à la végétation environnante. Au bout de quatre jours, le fourneau était éteint et la blende assez bien grillée; néanmoins, au centre de beaucoup de morceaux, il y avait encore un petit noyau de blende.

La partie grillée était compacte et sans traces de cristallisation; l'oxidation avait marché par couches concentriques, qui se distinguaient par un rouge orangé de nuances diverses.

Les morceaux complétement grillés ne subissaient que peu d'altération à l'air; mais ceux qui conservaient un noyau de blende, quelque petit qu'il fût, se délitaient par l'action successive de l'eau et de l'air, et se réduisaient en poussière plus

ou moins menue. Cette division allait quelquefois au point de donner à l'oxide l'apparence d'une argile.

Cependant, dans aucune circonstance, la partie grillée ne communiquait de saveur styptique à l'eau : ainsi, il y avait certainement peu de sulfate formé. L'absence de moyens d'analyse m'a empêché jusqu'ici d'examiner plus en détail les produits de cette opération.

Les morceaux qui contenaient encore un peu de gangue s'en sont séparés avec la plus grande facilité après le grillage.

Un autre phénomène s'est produit. Un grand nombre de morceaux de minérai furent couverts de cristaux transparens d'oxide de zinc parfaitement semblables à ceux qui tapissent les cavités de la calamine ; souvent cette incrustation était assez abondante pour agglomérer plusieurs morceaux ensemble : alors les intervalles étaient de plus remplis de longues aiguilles satinées, probablement formées aussi d'oxide de zinc.

L'inconvénient du dégagement d'acide sulfureux, joint à la circonstance de la volatilisation de l'oxide de zinc produite par le contact du combustible, me détermina à changer l'emplacement et la forme du fourneau.

Le nouveau fourneau de grillage a à peu près la forme intérieure d'un haut-fourneau; il a 2^m. de hauteur sur 1^m. de largeur au ventre, et $0^m,40$ au haut et au bas. La partie inférieure est munie de quatre barreaux de fer croisés, et au dessous se trouve une grille avec une porte de chauffe. Le gueulard peut se couvrir d'une pierre plate, lutée, et les produits gazeux doivent passer par une

cheminée oblique, qui aboutit dans une longue tranchée faite dans une montagne stérile et recouverte de pierres et de terre, de manière à disperser le gaz acide sulfureux.

Mon intention était d'éviter surtout le contact du combustible avec la blende, et de faire en sorte que le soufre seul suffit à la combustion.

On commença à charger environ 25 kil. de blende en gros morceaux, pour retenir les plus petits ; puis on ajouta 789 kil. de blende uniformément cassée : le four était alors à moitié plein. Au centre, on avait placé à l'avance un pieu rond d'environ $0^{m},10$ à $0^{m},15$ de diamètre ; on fit du feu sous la grille à six heures du soir, et on l'entretint toute la nuit. Le lendemain, à quatre heures du matin, le pieu était consumé et avait laissé son vide : alors, on chargea encore 400 kil. de blende sans laisser de vide, et on continua à entretenir le feu toute la journée. A cette époque, le minérai était en ignition, sur une hauteur d'environ $0^{m},50$ à partir de la base. A onze heures du soir, on enleva le feu : pendant dix-huit heures environ qu'il a duré, on a consommé 60 kil. de houille. Pendant la nuit, le tirage devint considérable et la combustion très active ; pour la modérer et empêcher que l'accès d'une trop grande quantité d'air froid ne nuisît à la combustion dans la partie inférieure, à quatre heures du matin du surlendemain de la mise en feu on ajouta 182 kil. de menue blende et 77 kil. de poussière provenant du cassage. A 11 heures du matin, le courant du gaz était encore considérable à l'extrémité de la cheminée.

L'opération continua de même pendant six jours. Après le refroidissement, on retira le mi-

nérai, dont le grillage n'était pas parfaitement complet : en général, les morceaux minces et plats étaient grillés jusqu'au centre; aux autres, il restait un noyau plus ou moins considérable. En huit jours, par l'action de l'eau et de l'air, tous ces derniers fusèrent comme dans l'expérience précédente.

J'ai dit plus haut que le minérai des deux filons ne se comportait pas de même : en effet, celui du grand filon est très compacte, et résiste au cassage et au grillage; celui qui est mélangé de calamine cariée se casse et se grille beaucoup mieux.

Comme on devait s'y attendre, la volatilisation de l'oxide de zinc a été beaucoup moindre que dans la première opération; la cheminée ne contenait que des traces d'oxide, et les dépôts de cristaux dans l'intérieur ont été plus rares.

Dans une opération suivante, conduite à peu près de même, on a mis des morceaux plus menus; mais le grillage n'a pas été parfaitement complet.

Telle est la substance des essais tentés jusqu'ici sur le grillage de la blende.

Le motif qui m'a engagé à m'écarter de la méthode suivie à Kloster est que, dans cette localité, la blende est obtenue en schlich et qu'ici elle est en masse.

D'après ces essais, voici, je pense, la marche à suivre pour avoir un grillage parfait. La blende, cassée en morceaux de $0^{m},05$ au plus, serait jetée dans le four de grillage, dont il serait à propos d'augmenter la hauteur. Soit sa capacité supposée de trois tonnes de minérai : en rendant le

grillage continu, et retirant 500 kil. par jour, chaque tonne de minérai subirait l'action du feu pendant six jours, ce qui est suffisant. Deux fourneaux suffiraient pour l'approvisionnement d'une usine où l'on ferait 500 kil. de zinc par jour, un seul ouvrier en ferait le service.

Le minérai serait exposé, en tas allongés, à l'action de l'eau et de l'air; lorsqu'il serait assez délité, en huit jours environ, on le passerait à une claie ou grille de $0^m,01$ de vide: toute la partie grillée passerait avec les plus petits noyaux de blende. J'évalue cette quantité aux quatre cinquièmes de la totalité; le reste serait repassé au même fourneau dans les opérations suivantes. Quant à la blende grillée, elle passerait à un four à réverbère chauffé, comme à Kloster, par la flamme du fourneau de distillation.

Quant aux morceaux parfaitement grillés qui ne se seraient pas délités par l'action de l'air, leur grosseur relative les rendrait faciles à séparer, par un triage à la main, des noyaux de blende qui n'auraient pas traversé la claie. Il en serait de même des morceaux de gangue échappés au premier triage.

Les frais de cette opération n'excéderont pas 3 francs par tonne de blende grillée.

Ayant fait trier avec soin une certaine quantité de minérai parfaitement grillé, j'ai voulu commencer à le distiller dans un fourneau à moufles. L'intérieur avait environ 1^m. carré; la grille était au milieu et avait 1^m. sur $0^m,25$: il y avait place pour deux moufles de $0^m,60$ sur $0^m,30$ et $0^m,40$. Elles reposaient sur deux siéges de briques réfractaires placées au dessus de la chauffe.

Soit que les moufles fussent atteintes par des courans d'air froid mêlé avec la flamme, soit qu'elles fussent formées d'une argile trop grasse, elles se sont constamment fêlées, malgré toutes les précautions qu'on a pu prendre pour la mise en feu.

La mauvaise saison étant arrivée, après quelques autres essais, j'ai renvoyé leur continuation au printemps suivant.

(*La suite à une prochaine livraison.*)

PROGRAMME

De deux prix de 12,000 *francs proposés par la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, dans sa séance générale du* 16 *décembre* 1829,

Pour des moyens de sûreté contre les explosions des machines à vapeur et des chaudières de vaporisation (1).

L'utilité des machines à vapeur et des chaudières de vaporisation ne saurait être aujourd'hui contestée. Ces machines peuvent remplacer, dans maintes circonstances, presque toutes les autres forces motrices et produire tous les effets mécaniques dont les arts ont besoin, soit que ces effets ne demandent que la force de quelques hommes, soit qu'ils exigent les forces réunies de plusieurs centaines de chevaux. Quant aux chaudières de vaporisation, on sait assez quels sont leurs avantages pour engendrer la vapeur qui est employée ou comme véhicule de la chaleur, ou comme agent chimique.

Mais il faut avouer que l'emploi de ces machines et de ces chaudières n'est pas toujours exempt de danger. Papin a reconnu, le premier, qu'elles pouvaient faire explosion quand la vapeur acquérait une tension trop élevée; et pour éviter cet accident, il a imaginé la soupape de sûreté, dont le poids sert de limite à l'accroissement de la force élastique de la vapeur. Ce moyen a été, depuis, adopté généralement; il est regardé avec raison comme l'un des plus efficaces pour prévenir, dans beaucoup de cas, la rupture de la chaudière lorsque, toutefois, les soupapes sont bien construites, c'est à dire lorsqu'elles ont un diamètre suffisant, lorsque leurs siéges, ou les bords sur lesquels

(1) *Ce programme avait été approuvé le 6 mai 1829 par le Conseil d'administration de cette Société, sur le rapport fait par M. Baillet, au nom du Comité des arts mécaniques.*

elles reposent, sont très étroits (1), lorsqu'on a soin aussi d'empêcher qu'elles n'adhèrent aux surfaces avec lesquelles elles sont en contact, et enfin lorsqu'on en met plusieurs sur une même chaudière, et que l'une d'elles est placée sous une cage fermée à clef, afin qu'elle ne puisse pas être surchargée au gré du premier venu.

Le Gouvernement, après avoir pris l'avis de l'Académie des sciences, a prescrit l'usage des soupapes de sûreté dans les machines à vapeur à haute pression, par l'ordonnance du 29 octobre 1823, et dans toutes les machines à pression quelconque qui sont établies sur des bateaux, par l'ordonnance du 25 mai 1828; mais il n'a pas cru devoir borner à l'emploi exclusif de ces soupapes les mesures de prudence que réclame l'intérêt public. Il a voulu, dans sa sagesse, que les chaudières et les bouilleurs, et même les cylindres et leurs enveloppes (ordonnance du 7 mai 1828), fussent préalablement soumis à des pressions d'épreuve beaucoup plus considérables que celles qu'on devra leur faire supporter dans le travail habituel; et dans la crainte que les soupapes ne pussent, par quelque cause que ce soit, jouer librement, il a ordonné de placer sur chaque chaudière deux rondelles métalliques qui sont de nature à fondre ou à se ramollir suffisamment pour s'ouvrir, à une température un peu plus élevée que celle de la vapeur dans la marche ordinaire de la machine. Enfin, il a prescrit plusieurs mesures qui sont relatives à l'emplacement même des machines, aux murs d'enceinte qui doivent les entourer, etc., et à la surveillance de police à laquelle ces machines doivent être assujetties.

Quoique une expérience de plusieurs années ait pleinement confirmé tous les bons effets de ces précautions, quelques personnes ne les ont pas regardées comme suffisantes, et elles ont proposé de substituer aux soupapes, ou du moins d'employer concurremment avec elles, des tubes appelés *tubes de sûreté* et des plaques minces ou des globes creux désignés sous le nom de *plaques* ou *globes d'explosion*.

---

(1) *L'inconvénient des bords trop larges a été suffisamment prouvé par les expériences de M. Clément sur l'écoulement des fluides élastiques par un orifice que recouvre un disque d'un diamètre plus grand.* (Ann. de Phys. et de Chim., septembre 1827, page 69.) B.

Les tubes de sûreté, qui ne sont, à vrai dire, que des manomètres à eau ou à mercure ouverts à l'air libre, offrent en effet, lorsqu'ils sont convenablement disposés, un moyen certain d'empêcher la vapeur d'acquérir une tension supérieure à celle qui est déterminée par leur hauteur, parce qu'ils lui ouvrent une issue lorsqu'elle a assez de force pour expulser le liquide qu'ils renferment.

Quant aux plaques minces ou aux globes d'explosion qu'on a adaptés quelquefois à des ouvertures pratiquées exprès dans les parois des chaudières, on conçoit que leur rupture doit produire des résultats à peu près les mêmes, quoique dans des limites moins précises, leur résistance ne pouvant jamais être fixée qu'approximativement.

Ces différens moyens de sûreté, les soupapes, les manomètres ouverts à l'air libre, les rondelles fusibles et les plaques ou globes d'explosion ont, comme il est aisé de le voir, une propriété commune, celle d'offrir un passage à la vapeur quand elle acquiert le degré de tension qu'on a déterminé, et ils peuvent ainsi contribuer à empêcher de la même manière toute explosion qui serait due à un accroissement lent et progressif de la tension de la vapeur dans la chaudière. Mais on est forcé de reconnaître qu'ils seraient presque illusoires, si une masse considérable de vapeur venait à se former tout à coup dans une partie de l'appareil, et se développait avec la rapidité de l'éclair. Il semble que rien alors ne pourrait empêcher la chaudière d'être fracassée et lancée au loin en éclats, comme elle le serait par une détonation de poudre, quand bien même les soupapes seraient soulevées et que plusieurs autres issues seraient ouvertes.

On cite des exemples d'explosions de machines à vapeur qu'on ne peut attribuer qu'à quelque cause semblable. On raconte que, dans certains cas où elles ont eu lieu, les soupapes n'avaient pas été surchargées et jouaient avec liberté; que, dans d'autres, le manomètre avait indiqué, peu d'instans auparavant, une pression moindre que la pression moyenne de la vapeur dans le travail habituel de la machine, et que, dans d'autres aussi, le mouvement de la machine venait d'être arrêté, que le feu avait été diminué dans le foyer, et que la soupape de décharge était déjà levée pour l'évacuation de la vapeur (1).

(1) *Voyez un Mémoire de M. Marestier* sur les Explosions des

On peut supposer que, dans ces diverses circonstances, l'eau a été projetée subitement sur quelques parties des parois de la chaudière qui se trouvaient accidentellement échauffées à une très haute température, d'où sera résultée soudain une détonation véritable de vapeur.

On conçoit en effet que ces parois, dont la température varie peu tant qu'elles sont mouillées par l'eau, peuvent s'échauffer rapidement dans quelques points et même être rougies par l'action du feu, si elles se couvrent d'un dépôt ou d'une incrustation quelconque qui y adhère, ou si la surface de l'eau qui remplit la chaudière vient à s'abaisser au dessous des canaux de circulation de la flamme.

On explique comment l'eau peut ensuite être versée ou jetée sur ces parois brûlantes, si l'on considère qu'il peut arriver ou que l'incrustation qui est adhérente sur le fond se déchire d'elle-même et se détache, ou que, dans une machine placée sur un bateau à vapeur, le mouvement du bâtiment change la position de la surface de l'eau relativement à la chaudière, ou que le conducteur de la machine introduise brusquement l'eau dans la chaudière, lorsque celle qui y reste a éprouvé depuis long-temps un trop grand abaissement, ou enfin qu'une diminution de pression (1) de la vapeur occasione une effervescence tumultueuse et une ébullition violente dans l'eau qui occupe le fond de la chaudière, et fasse jaillir au loin cette eau sur les parties des parois qui ont acquis la chaleur rouge.

Quelques auteurs, s'appuyant sur des expériences de Klaproth et de Perkins, ont même pensé que, par une certaine élévation de température des parois de la chaudière ou des bouilleurs, il pourrait se former une atmosphère de vapeur entre ces parois et l'eau qu'elles renferment, et que, par l'effet d'une diminution de chaleur survenue ensuite, le contact, étant subitement rétabli entre la masse d'eau et les parois très chaudes, pourrait produire une va-

---

machines à vapeur, *dans les* Annales maritimes et coloniales *de* 1828. *Voyez aussi une Notice publiée par M. Arago, sur le même sujet, dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes *de* 1830, et le IXᵉ. chapitre de l'*Histoire des machines à vapeur depuis leur origine jusqu'à nos jours, par M. Hachette, in-8°. Paris, mars* 1830. B.

(1) Plusieurs causes peuvent diminuer subitement cette pression : 1°. Une fissure dans le dôme de la chaudière; 2°. la décharge ou l'ouverture d'une soupape; 3°. l'accélération du mouvement de la machine, qui augmente la consommation de la vapeur; 4°. un ralentissement dans la production de cette vapeur par l'abaissement subit du niveau de l'eau, etc.

peur assez abondante et assez forte pour briser l'appareil (1).

Les explosions occasionées par ces différentes causes, et celles aussi qu'on a quelquefois attribuées à une détonation du gaz hydrogène carboné dans les foyers qui sont placés dans l'intérieur des chaudières (2), pourront peut-être ne présenter que des chances de probabilité très rares; mais il suffit qu'elles soient possibles, pour qu'on doive chercher à les prévenir toutes.

On rappellera ici à ce sujet :

1°. Qu'il faut toujours conduire le feu avec la plus grande régularité, ne pas l'étouffer en surchargeant la grille d'une trop grande quantité de houille, et ne jamais fermer complétement le registre de la cheminée, pour ne pas empêcher le gaz de brûler et de s'écouler à mesure qu'il se dégage du combustible (3).

2°. Qu'il est très important de ne pas négliger les différens soins, qui sont bien connus et presque généralement pratiqués, pour éviter les dépôts dans les chaudières et pour les détruire et les enlever lorsqu'ils se forment (4).

3°. Qu'il est indispensablement nécessaire d'apporter l'attention la plus suivie, pour que l'alimentation compense à chaque instant la dépense de vapeur et toutes les pertes d'eau, et pour que la surface de l'eau dans la chau-

---

(1) *Voyez les* Recherches *de Klaproth* sur la vaporisation de l'eau à une haute température. (Annales de Chimie et de Physique, *juillet* 1827, *page* 325); *et les* Observations *de Perkins* sur les phénomènes singuliers de la vaporisation. (Annales de Chimie et de Physique, *décembre* 1827, *page* 435.) B.

Voyez aussi le London Journal, *avril* 1827; *le* Mémoire, *cité ci-dessus, de M. Marestier, et une* Note *de M. Gaultier de Claubry, insérée dans le n°.* 271 *du* Bulletin de la Société d'Encouragement. B.

(2) *Voyez, dans* le Philos. Magazine *du mois de février* 1827, *un article de M. J. Taylor, sur les explosions de gaz dans les fourneaux.* B.

(3) *Voyez Tredgold*, Traité des machines à vapeur; *traduction française. Paris*, 1828, *page* 421. B.

(4) *Pour empêcher les dépôts des eaux impures, on a coutume d'ajouter, dans la chaudière, de la drèche, de la pomme de terre écrasée, ou toute autre matière farineuse, qu'on renouvelle de temps en temps : et pour enlever les incrustations lorsqu'elles se sont formées, on peut employer un acide étendu d'eau, suivant l'indication de M. d'Arcet. Quant aux eaux de mer, on prévient le dépôt de sel (qui ne manquerait pas de se produire aussitôt que l'eau serait saturée) si on fait sortir continuellement de la chaudière une petite quantité d'eau chaude.* B.

dière demeure constamment au dessus des canaux où circule la flamme du foyer.

4°. Que pour mieux atteindre ce but, il ne peut qu'être très utile de disposer convenablement les tuyaux nourriciers et la pompe alimentaire, et d'y ajouter un flotteur ou tout autre mécanisme, de manière à produire cet effet sans la participation du conducteur de la machine.

5°. Que pour le cas où, malgré les précautions et les dispositions précédentes, le niveau de la surface de l'eau viendrait à baisser dans la chaudière par une cause imprévue, telle que quelque fuite extraordinaire, il sera très avantageux d'insérer dans la chaudière un tube ou une sorte de tuyau d'orgue, que la vapeur elle-même fera résonner quand l'eau sera abaissée au dessous d'un niveau déterminé, et dont le bruit éclatant réveillera le conducteur s'il est endormi, ou l'appellera de loin s'il est absent, et servira en quelque sorte à sonner l'alarme et à avertir que le danger commence et qu'il est urgent d'y remédier.

6°. Que, pour éviter que les parois n'acquièrent une chaleur trop grande, soit lorsque l'eau qui se serait abaissée dans la chaudière ne pourrait pas être assez promptement relevée à la hauteur d'où elle n'aurait pas dû descendre, soit dans tout autre cas, on peut adapter aux parois de la chaudière, un peu au dessous de la ligne d'eau et même à différentes profondeurs au dessous de cette ligne, des rondelles ou des tampons de métal, qui soient de nature à entrer en fusion à une température qui n'excéderait que de quelques degrés la température ordinaire de ces parois; ce qui préviendrait tout accident ultérieur, en donnant à propos un écoulement à la vapeur et à l'eau de la chaudière, et en arrêtant le jeu de la machine.

7°. Que lorsqu'on n'a pu empêcher la chaudière de manquer d'eau ni ses parois de rougir dans quelques points, il faut bien se garder soit de refroidir brusquement la vapeur, soit de lui ouvrir une issue par une soupape ou un robinet de décharge, et que, dans les mêmes circonstances, quand il s'agit d'arrêter la machine, on doit commencer par éteindre le feu et par enlever les charbons du foyer, avant de faire évacuer l'eau et la vapeur.

Si à toutes les mesures de prévoyance et de sûreté dont on vient de présenter une énumération rapide, on ajoute l'emploi des différens instrumens et des différens appareils

qui peuvent servir, soit à faire connaître à chaque instant quelle est la hauteur de l'eau dans la chaudière (1), quelle est la tension et la température de la vapeur (2) et quelle est la vitesse de la machine (3), soit à régler invariablement la conduite du feu (4) et le jeu du piston (5), soit à empêcher la chaudière d'être endommagée si la pression intérieure devenait moindre que celle de l'atmosphère (6), soit à indiquer, par une sonnerie à réveil ou par tout autre moyen, que la pression de la vapeur, ou sa température, ou la rapidité du mouvement dépassent les limites qu'on a déterminées; et si enfin on exerce constamment la vigilance la plus exacte pour que toutes les parties de la machine soient entretenues en bon état et fonctionnent bien, on aura sans doute satisfait aux conditions principales qui paraissent nécessaires pour éloigner toutes les craintes de danger et pour prévenir toutes ces malheureuses catastrophes qui n'ont eu lieu que trop souvent.

Mais il est permis encore de désirer une sécurité plus complète; on peut demander que les moyens de sûreté qui ont été employés ou proposés jusqu'ici soient perfectionnés, que l'exécution des instrumens et des appareils qu'ils exigent soit rendue plus facile, que leur entretien soit moins coûteux, et que leurs réparations surtout n'interrompent pas long-temps le service de la machine à vapeur ou de la chaudière de vaporisation.

On peut aussi former le vœu que quand une explosion ne peut être évitée, la chaudière soit tellement construite que cet accident ne produise d'autre effet que la destruction de cette chaudière, et qu'il n'en puisse résulter aucune suite désastreuse ni pour les hommes qui en sont témoins, ni pour le reste de la machine et le bâtiment qui la renferme.

La Société d'Encouragement, convaincue de toute l'efficacité des différens moyens de sûreté qui ont été employés ou proposés jusqu'ici contre les explosions des machines à vapeur et des chaudières de vaporisation; mais considérant

(1) Les tuyaux d'épreuve, le tuyau de verre, le flotteur, etc.

(2) Les manomètres, baromètres, thermomètres, etc., sur la chaudière, le cylindre et le condenseur.

(3) Les compteurs, tachomètres, etc.

(4) Le régulateur à air, soit à main, soit à flotteur, etc.

(5) Le pendule conique, la pompe, etc.

(6) La soupape à air ou du vide.

que ces moyens sont susceptibles d'être perfectionnés sous les différens points de vue de l'exécution, de l'entretien ou de la réparation des instrumens et des appareils qu'ils exigent; considérant en outre qu'il serait à désirer qu'on trouvât une construction de chaudière tellement disposée qu'elle pût faire explosion sans aucun danger, a décidé qu'elle accorderait deux prix : « l'un pour celui qui per-
» fectionnera et complétera les moyens de sûreté qui ont
» été employés ou proposés jusqu'ici contre les explosions
» des machines à vapeur et des chaudières de vaporisation,
» ou qui en indiquera de meilleurs; l'autre, pour celui
» qui trouvera une forme et une construction de chau-
» dière qui prévienne ou qui annule tout danger d'explo-
» sion. »

Chacun de ces deux prix sera de la somme de *douze mille francs*, et sera décerné, s'il y a lieu, dans la séance générale du deuxième semestre de 1831, à tout Français ou étranger qui en aura été jugé le plus digne et qui aura rempli les conditions suivantes :

1°. Que les moyens que proposeront les concurrens soient simples, faciles, peu coûteux et d'un usage général pour toutes les machines à vapeur à pression quelconque, et pour les chaudières de vaporisation;

2°. Que ces moyens aient été confirmés par une expérience continuée pendant six mois sur une machine à vapeur à haute pression, de la force de dix chevaux au moins, ou sur une chaudière de vaporisation à haute pression et produisant au moins la quantité de vapeur nécessaire pour une machine de la force qui vient d'être désignée;

3°. Que l'efficacité de ces moyens et la durée de leur épreuve soient constatées par des certificats authentiques, que MM. les préfets seront invités à délivrer, sur les rapports de MM. les ingénieurs des ponts et chaussées ou de MM. les ingénieurs des mines;

4°. Que les concurrens renoncent à prendre un brevet d'invention et abandonnent la propriété de leurs découvertes à la Société d'Encouragement, qui se réserve de les publier;

5°. Que les mémoires, dessins ou modèles, rapports et certificats soient envoyés avant le 1er. juillet 1831.

ORDONNANCES DU ROI,

CONCERNANT LES MINES,

RENDUES PENDANT LA SUITE DU SECOND TRIMESTRE DE 1828 ET LE COMMENCEMENT DU TROISIÈME TRIMESTRE DE CETTE MÊME ANNÉE.

Usine à battre le cuivre, de Landrichamps.

Ordonnance du 1er. juin 1828, portant que le sieur Jacquier de Rosé *est autorisé à établir sur la rivière de Houille, commune de Landrichamps* (Ardennes), *une usine à battre le cuivre, composée d'un four à recuire et de six martinets mus par des roues hydrauliques, conformément au plan annexé à la présente ordonnance.*

Mines d'antimoine de Chaumadoux

Ordonnance du 5 juin 1828, portant concession de mines d'antimoine existant au territoire de Chaumadoux (Puy-de-Dôme).

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.

Art. Ier. Il est fait concession au sieur Jean-Alexandre Fargeix des mines d'antimoine existant au territoire de Chaumadoux, commune de Messeix, département du Puy-de-Dôme.

Art. II. Cette concession, renfermant une étendue superficielle d'un kilomètre carré quarante hectares, est et demeure limitée conformément au plan joint à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

A l'ouest, par le chemin partant de la rivière de la Dordogne, et aboutissant au village de Chaumadoux ;

Au nord, par le chemin dit Grand-Chemin, conduisant de Chaumadoux à l'Aquenille, et jusqu'à l'intersection de ce chemin avec la limite respective des deux communes de Chaumadoux et du village de Méclier;

A l'est, par la limite ci-dessus jusqu'à la rivière de la Dordogne;

Au sud, par cette dernière rivière jusqu'à sa rencontre avec le chemin qui mène à Chaumadoux, point de départ.

Art. III. Il sera planté des bornes, aux frais du concessionnaire, dans tous les points des limites de la concession où le préfet jugera à propos d'en faire placer.

Procès-verbal de cette opération sera dressé en double expédition, pour être déposé à la préfecture et à la direction générale des mines.

Art. IV. Le concessionnaire sera tenu de se conformer exactement aux clauses et conditions du cahier des charges arrêté en Conseil général des mines, approuvé par notre conseiller d'État, directeur général des ponts et chaussées et des mines.

Ce cahier demeurera annexé à la présente ordonnance.

Art. V. Le concessionnaire paiera aux propriétaires de la surface une rétribution annuelle de 50 cent. par hectare de terrain compris dans l'étendue de sa concession, en exécution des art. 6 et 42 de la loi du 21 avril 1810, sans préjudice des engagemens qu'il aurait pu contracter déjà avec quelques uns d'entre eux, et nonobstant les indemnités qui pourraient être dues à qui de droit, pour dégâts et non-jouissance de terrains, conformément aux art. 44 et 43 de la même loi.

Art. VI. L'impétrant ne pourra traiter et fondre ses minérais d'antimoine qu'après avoir obtenu l'autorisation spéciale du Gouvernement, conformément aux dispositions prescrites par l'art. 73 et suivans de ladite loi.

Ordonnance du 5 juin 1828, portant que le sieur Anne-Marthe-Rolland Onffroy *est autorisé à établir, en remplacement de son moulin à blé de l'Etang-du-Moulinet, commune de Pléchâtel* (Ille-et-Vilaine), *un haut-fourneau pour la fonte du minérai de fer, et un atelier de moule-*

Haut-fourneau de Pléchâtel.

rie; le tout conformément aux quatre plans qui resteront annexés à la présente ordonnance.

Usine à fer de la Meilleraye.

Ordonnance *du* 11 *juin* 1828, *portant que le sieur* Brière de Montandin *est autorisé à conserver et tenir en activité l'usine à fer, dite de* la Meilleraye, *qu'il possède sur la rive droite du Thonet, commune de Peyratte* (Deux-Sèvres), *et que la consistance de cette usine est et demeure fixée, conformément aux plans de masse et de détails joints à la présente ordonnance, en un haut-fourneau à fondre le minérai; deux affineries pour convertir la fonte en fer; une chaufferie pour l'étirage du fer; et un marteau à drôme.*

Usine à laiton de Neauffles.

Ordonnance *du* 11 *juin* 1828, *portant que les sieurs* Fouquet *frères sont autorisés à maintenir en activité et à augmenter l'usine à laiton qu'ils possèdent dans la commune de Neauffles* (Eure), *sur la rivière de la Risle, et que cette usine, conformément au plan joint à la présente ordonnance, demeurera composée de deux feux de chaufferie; d'un feu de fusion à six creusets; d'un fourneau à réverbère pour fondre le cuivre rouge; de deux laminoirs pour les grandes et les petites planches; enfin, d'une fonderie.*

Lavoirs à bras des Jouvoilots.

Ordonnance *du* 19 *juin* 1828, *portant que les sieurs* Galaire *et* Patret *sont autorisés à conserver et tenir en activité les deux lavoirs à bras qu'ils ont établis en vertu du bail du* 23 *août* 1821 *et de la cession à eux faite par le sieur* Isaac Blum, *détenteur de ce bail, sur le terrain dit* des Jouvoilots, *appartenant à la commune de Neuvelle-*

lès-la-Charité, arrondissement de Vesoul (Haute-Saône).

ORDONNANCE *du* 19 *juin* 1828, *portant que les sieurs* Jules Emeric *et* Charles de Foucault *sont autorisés à conserver et tenir en activité l'usine à fer dite* de Champ-Vert *qu'ils possèdent commune de Porcherie* (Haute-Vienne), *et que la consistance de cette usine est et demeure fixée conformément au plan d'ensemble et de détails joint à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir : deux feux d'affinerie et leurs soufflets; un gros marteau; trois roues hydrauliques; et une chaussée, formant l'étang de Champ-Vert.* Usine à fer de Champ-Vert.

ORDONNANCE *du* 19 *juin* 1828, *concernant l'usine à fer de Trith-Saint-Léger* (Nord). Usine à fer de Trith-Saint-Léger.

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.,

Vu l'ordonnance du 20 février 1828, qui autorise le sieur Leclerc-Sezille à établir une usine à fer dans la commune de Trith-Saint-Léger (Nord);

ART. Ier. Le nombre des fours à puddler qui feront partie de l'usine du sieur Leclerc-Sezille, commune de Trith-Saint-Léger, département du Nord, est, conformément à la demande affichée le 26 octobre 1826, déterminé à trois fours, au lieu de deux qui sont mentionnés dans l'art. Ier. de ladite ordonnance du 20 février 1828.

ART. II. Toutes les autres dispositions de ladite ordonnance sont maintenues.

ORDONNANCE *du* 25 *juin* 1828, *portant que le sieur* Sugier *est autorisé à établir, conformément au plan joint à la présente ordonnance, deux lavoirs à bras pour le lavage du minérai de fer,* Lavoirs à bras de Morbier.

dans sa propriété, sur une dérivation du cours d'eau qui la traverse, au lieu dit le Morbier, *commune de la Chapelle-Saint-Quillain* (Haute-Saône).

Haut-fourneau du moulin de Nontot.

ORDONNANCE du 25 juin 1828, portant autorisation d'établir un haut-fourneau au lieu dit le Moulin de Nontot, *en la commune de Curtil-Vergy* (Côte-d'Or).

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.

ART. Ier. Le sieur Mollerat est autorisé à établir, conformément aux deux plants joints à la présente ordonnance, un haut-fourneau pour fondre le minérai de fer, un patouillet et un bocard, au lieu dit le Moulin de Nontot, commune de Curtil-Vergy, département de la Côte-d'Or.

ART. II. Ces trois usines seront mises en activité dans le délai d'un an au plus tard, à partir de la date de la présente ordonnance.

ART. III. Aussitôt que le haut-fourneau sera mis en activité, la manufacture de produits chimiques que le sieur Mollerat possède au même lieu devra cesser de travailler, et dans aucun cas et sous aucun prétexte il ne pourra la rétablir sans qu'il y ait été autorisé légalement.

ART. VIII. Les eaux bourbeuses provenant du lavage du minérai seront versées dans un bassin, ouvert à cet effet dans un pré appartenant au sieur Mollerat, à droite de la rivière, et dont les dimensions sont fixées à cent mètres de longueur, trois mètres de largeur et un mètre et demi de profondeur. Les eaux de ce bassin s'écouleront par un déversoir de superficie, et il sera curé toutes les fois que les terres provenant du lavage s'élèveront aux deux tiers de sa hauteur dans la partie d'aval de ce bassin.

Ordonnance du 2 juillet 1828, portant que les héritiers du sieur Sicaire Desbordes *sont autorisés à conserver et tenir en activité l'usine à fer dite* Mas-de-Bost, *qu'ils possèdent sur la rivière de Drôme, commune de Dournazac* (Haute-Vienne), *et que la consistance de cette usine est et demeure fixée, conformément au plan de masse et de détails joint à la présente ordonnance, à deux feux d'affinerie et un marteau.* **Usine à fer dite Mas-de-Bost.**

Ordonnance du 2 juillet 1828, portant que le sieur Achille de Jouffroy *est autorisé à établir dans son domaine de la Jahotière, commune d'Abbaretz* (Loire-Inférieure), *une usine à fer alimentée seulement par la houille, conformément à sa demande, et dont la consistance est fixée ainsi qu'il suit, savoir : deux hauts-fourneaux pour fondre le minérai de fer; deux feux d'affinerie; et douze fours à réverbère pour convertir la fonte en fer, avec les marteaux et cylindres nécessaires à cette opération : le tout mu par des machines à vapeur, et établi suivant les plans de masse et de détails joints à la présente ordonnance.* **Usine à fer d'Abbaretz.**

Ordonnance du 2 juillet 1828, portant que la dame Chaulet, *ou ses ayant-droit, sont autorisés à conserver et tenir en activité l'usine à fer de Monclar, commune de Clermont-Beauregard* (Dordogne), *et que la consistance de cette usine est et demeure fixée, conformément aux trois plans d'ensemble et de détails joints à la présente ordonnance, à deux hauts-fourneaux allant au charbon de bois; une affinerie également au* **Usine à fer de Monclar.**

charbon de bois ; une forerie et des ateliers de moulerie.

Mine de lignite de Bedouin.

Ordonnance du 9 juillet 1828, *portant concession des mines de lignite de Bedouin* (Vaucluse).

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.

Art. Ier. Il est fait concession au sieur Quinquin des mines de lignite de Bedouin, département de Vaucluse.

Art. II. Cette concession, renfermant une étendue superficielle de douze kilomètres carrés quatre-vingt-onze hectares, est et demeure limitée, conformément au plan joint à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

Au nord, par une ligne droite menée du clocher de Crillon à l'angle sud-ouest de la grange d'Auségur, dite Grande-Garigue ;

A l'est, par deux autres droites de la Garigue au clocher de Bedouin, et de là à l'angle nord-ouest de la Grange de Caumont ou Caniont, appartenant au sieur Bouchet ;

Au sud, par une quatrième droite, tirée de la Grange-Caniont à l'angle nord-est de la Grange de Limon, appartenant au sieur Boyer ;

Enfin à l'ouest, par une cinquième et une sixième ligne droite de la Grange du Limon au point culminant de la montagne du Limon, quartier du Carret, et de là au clocher de Crillon, point de départ.

Art. III. Il sera, à la diligence du préfet et aux frais du concessionnaire, planté des bornes dans tous les points des limites de la concession où ce magistrat jugera à propos d'en faire placer. L'ingénieur en chef des mines dressera procès-verbal de cette opération, dont expéditions seront déposées aux archives de la préfecture et à celles de Bedouin et de Crillon. Il sera donné avis de ce dépôt à notre conseiller d'état, directeur général des ponts et chaussées et des mines.

Art. IV. Le concessionnaire se conformera exactement aux clauses et conditions du cahier des charges arrêté en conseil général et approuvé par notre directeur général des mines.

Ce cahier des charges demeurera annexé à la présente ordonnance, qui sera publiée et affichée aux frais du con-

cessionnaire, dans toutes les communes sur lesquelles s'étend la concession.

Ordonnance du 9 juillet 1828, portant que les sieurs Langlois-Millot *et* Gaudemet-Buisson *sont autorisés à établir six lavoirs à bras, pour le lavage des minérais de fer, savoir : trois au lieu dit* La Fontenotte ; *et trois au lieu dit l'*Ancien Étang-de-Verfontaine, *sur deux emplacemens qu'ils ont amodiés, le 14 juin 1826, de feu le sieur* Faivret, *commune de Verfontaine, arrondissement de Gray* (Haute-Saône).

Lavoir à bras de Verfontaine.

Ordonnance du 16 juillet 1828, portant que les sieurs Ardaillon *et* Bessy *sont autorisés à tenir et conserver en activité, conformément au plan qui restera annexé à la présente ordonnance, les deux lavoirs à bras qu'ils ont établis, pour le lavage du minérai de fer, dans leur propriété, sur le cours de la fontaine dite* le Moulinot, *commune d'Igny* (Haute-Saône).

Lavoirs à bras d'Igny.

Ordonnance du 16 juillet 1828, portant réglement sur l'exploitation des carrières de gypse du département de Saône-et-Loire.

Réglement sur l'exploitation de carrières de gypse.

Réglement sur l'exploitation des carrières de gypse du département de Saône-et-Loire.

TITRE PREMIER.

EXERCICE DE LA SURVEILLANCE DE L'ADMINISTRATION SUR L'EXPLOITATION DES CARRIÈRES DE GYPSE.

Art. Ier. Les carrières de gypse actuellement existantes dans le département de Saône-et-Loire, et toutes autres carrières de même espèce qui pourront y être ouvertes à

l'avenir seront soumises aux mesures d'ordre et de police qui sont prescrites ci-après.

Art. II. Tout propriétaire ou entrepreneur qui se proposera, soit de continuer l'exploitation d'une carrière en activité, soit d'en ouvrir une nouvelle, sera tenu d'en faire sa déclaration devant le préfet du département, par l'intermédiaire du sous-préfet de l'arrondissement et du maire de la commune dans laquelle sera située ladite carrière.

Art. III. Cette déclaration énoncera les nom, prénoms et demeure du propriétaire ou entrepreneur de l'exploitation, avec indication de ses droits de propriété et de jouissance du sol; elle fera connaître aussi le lieu et l'emplacement de l'exploitation, la forme générale des travaux faits ou à faire, soit à ciel ouvert, soit par puits ou par cavage à bouche, ainsi que la disposition des moyens employés ou projetés pour assurer la solidité de l'ouvrage, prévenir les accidens, épuiser les eaux et extraire les matières.

Art. IV. Ladite déclaration sera accompagnée d'un plan dressé sur l'échelle de deux millimètres pour mètre; mais dans les localités où, comme à Saint-Léger, les exploitations sont multipliées et rapprochées les unes des autres, il sera dressé, pour chaque masse en extraction, un plan général de la superficie, sur l'échelle de deux millimètres pour mètre. Ce plan indiquera exactement la position des chemins, les limites des propriétés des exploitans, celles du gîte, et en même temps les puits et les diverses excavations, qui seront désignés par des numéros correspondant aux diverses extractions dont ils font partie. L'ingénieur des mines en vérifiera l'exactitude, ainsi que tous autres plans.

Une expédition de ces plans sera déposée à la mairie, pour qu'ils puissent au besoin être consultés par les parties intéressées.

A défaut de la production des plans, dans le délai de six mois à compter de la publication du présent réglement, ou pour cause d'inexactitude reconnue, ces plans seront levés d'office aux frais des exploitans, et ces frais, pour les plans généraux, partagés entre les extracteurs, proportionnellement à l'étendue du terrain que possède chacun d'eux et au développement de ses travaux.

Art. V. La déclaration prescrite par les articles 3 et 4 devra être faite et les plans fournis,

1°. Par tout entrepreneur de carrière actuellement en activité, dans le délai de six mois à compter de la publication du présent réglement;

2°. Par tout entrepreneur de nouvelle carrière, un mois avant qu'il puisse mettre en activité l'exploitation projetée.

Art. VI. Faute par lesdits propriétaires ou entrepreneurs d'avoir fait la déclaration susénoncée dans les délais prescrits, le préfet, sur le rapport de l'ingénieur des mines et après avoir entendu les exploitans, pourra ordonner, s'il y a lieu, que, provisoirement et par mesure de police, les travaux en seront suspendus jusqu'à ce que la déclaration susdite ait été effectuée, sauf le recours devant le ministre de l'intérieur.

Art. VII. Dans toute exploitation de gypse, la surveillance de la police sera exercée, sous la direction du préfet, soit par le maire de la commune dans laquelle sera située l'exploitation, ou, à son défaut, par les adjoints du maire, soit par le commissaire de police, le tout conformément aux articles 8 et 15 du Code d'instruction criminelle.

La surveillance de l'administration, relativement à l'observation des réglemens locaux, sera exercée, sous l'autorité du préfet, par l'ingénieur des mines de l'arrondissement, et en son absence par un conducteur surveillant des carrières, qui sera nommé par le directeur général des ponts et chaussées et des mines, sur la présentation du préfet.

Art. VIII. L'ingénieur des mines présentera, tous les ans, au préfet un rapport sur l'état des carrières du département, après les avoir visitées. Il donnera son avis sur les affaires administratives qui s'y rapportent, toutes les fois qu'il en sera requis par le préfet. Il informera le préfet de tout désordre ou abus qu'il aura observé dans l'exploitation; il proposera les mesures d'ordre public dont il aura reconnu la nécessité, ou les moyens d'amélioration qu'il lui paraîtrait utile d'introduire; mais il s'attachera plus spécialement encore à éclairer les exploitans, en leur faisant connaître les vices ou les inconvéniens qu'il aurait reconnus dans leurs travaux.

Art. IX. Sur le rapport de l'ingénieur des mines et après avoir entendu l'exploitant de la carrière dont il s'agira, le préfet pourra ordonner la suspension des travaux reconnus dangereux, et prescrire telles mesures de sûreté

qu'il appartiendra, sauf recours au ministre de l'intérieur.

Art. X. L'exploitant sera tenu de faciliter à l'ingénieur des mines et au conducteur surveillant, ainsi qu'à tous les fonctionnaires publics et agens délégués par l'administration, les moyens de visiter et de reconnaître les travaux de l'exploitation.

Art. XI. Il sera personnellement responsable du fait de ses employés et ouvriers; ces derniers devront toujours être porteurs de livrets, conformément à l'article 12 de la loi du 12 avril 1803 (22 germinal an XI).

Art. XII. Nul exploitant ne pourra abandonner, combler ou faire écrouler une carrière, ni enlever les massifs de soutènement des puits, avant d'en avoir fait sa déclaration au préfet, lequel, après avoir fait reconnaître l'état des lieux, prescrira ce qu'il appartiendra dans l'intérêt de la sûreté publique.

Art. XIII. Les contraventions au présent réglement seront constatées, comme celles en matière de voirie ou de police, par l'ingénieur des mines ou par le conducteur surveillant, et concurremment par les maires et adjoints des communes ci-dessus désignées, ainsi que par tous les officiers de police de ces localités, chacun dans son ressort.

Art. XIV. Les procès-verbaux constatant ces infractions seront dressés sur papier libre, timbrés et enregistrés en débet. Lorsque ces procès-verbaux seront rédigés par un gendarme, un commissaire de police ou un garde-champêtre, ils seront affirmés, dans les vingt-quatre heures de leur rédaction, devant le maire de la commune où l'infraction aura été commise.

Art. XV. Ces procès-verbaux seront adressés en originaux au préfet, pour faire statuer sans délai sur les peines et amendes encourues par les contrevenans, sans préjudice des dommages et intérêts qui pourront être réclamés par les parties lésées.

TITRE II.

RÈGLES SPÉCIALES SUR L'EXPLOITATION.

SECTION PREMIÈRE.

Classement des carrières.

Art. XVI. Les diverses circonstances de la disposition du gîte et l'épaisseur plus ou moins grande des couches de terre, de pierre ou de marne qui le recouvrent, nécessitent différens modes d'attaquer le gîte à exploiter, entre lesquels les entrepreneurs seront libres de choisir celui qui leur paraîtra convenir le mieux à la localité et aux moyens dont ils peuvent disposer : ces modes sont :

1°. A découvert, par tranchées à ciel ouvert;

2°. Par cavage à bouche, en pratiquant, dans un front de masse mis à découvert, des ouvertures au moyen desquelles on pénètre dans son intérieur;

3°. Par puits qui traversent toutes les couches étrangères, pour arriver jusqu'au banc de gypse où doit s'établir l'exploitation.

SECTION II.

De l'exploitation à découvert.

Art. XVII. Dans le mode d'exploitation à découvert, les terres seront coupées en retraite, par banquettes ou talus suffisans pour prévenir l'éboulement des masses supérieures.

La pente à donner au talus sera déterminée en raison de la nature, de l'épaisseur et de la consistance du banc de recouvrement.

Art. XVIII. Il sera ouvert un fossé, d'un à deux mètres de profondeur et autant de largeur, au dessus de l'exploitation; on rejettera le déblai de ce fossé sur le bord du terrain du côté des travaux, pour y former une berge ou rempart destiné à prévenir les accidens et à détourner les eaux.

SECTION III.

De l'exploitation par cavage à bouches.

Art. XIX. Les règles prescrites ci-dessus, articles 17 et 18, sont applicables aux terrassemens qui devront être exécutés, soit en avant, soit au dessus du front de toute masse à exploiter par cavage à bouches.

Les travaux souterrains des carrières exploitées par cette voie seront assujettis aux règles qui vont être indiquées dans la section suivante.

SECTION IV.

De l'exploitation par puits.

Art. XX. Les puits seront muraillés en briques ou boisés solidement, dans toute la hauteur du terrain qui ne présente pas une suffisante solidité par lui-même. Ils seront garnis d'échelles pour la descente des ouvriers, lesquelles seront solidement fixées et entretenues en bon état.

Art. XXI. L'exploitation proprement dite ne pourra commencer qu'à une distance de huit mètres au moins du fond du puits. Les galeries qui partiront de celui-ci seront larges d'un mètre seulement et hautes de deux. On évitera avec soin tout éboulement qui pourrait compromettre la solidité du puits.

Art. XXII. L'exploitation sera distinguée en deux parties :

La première, désignée sous le nom d'exploitation préparatoire ;

La seconde, sous celui d'exploitation en retraite.

A. *Exploitation préparatoire.*

Art. XXIII. Elle aura lieu en allant du pied du puits aux extrémités de la masse ou de la propriété ; elle s'opérera, autant que possible, dans le banc dit *des galeries*, par tailles ou galeries de 6 mètres 60 centimètres de largeur au plus, à moins d'autorisation spéciale accordée par le préfet, sur l'avis de l'ingénieur des mines.

Art. XXIV. Ces tailles seront espacées entre elles au

moins de cinq mètres; elles pourront être recoupées par d'autres de pareilles dimensions, perpendiculaires aux premières et semblablement espacées, de manière à ce que, l'exploitation préparatoire étant terminée, il reste entre les points de rencontre des tailles croisées ou des piliers carrés de cinq mètres de largeur, ou des massifs de dimensions double, triple, etc., si les exploitans ont jugé à propos de le faire pour s'avancer plus rapidement vers les limites du champ d'exploitation.

B. *Exploitation en retraite.*

Art. XXV. Ce n'est qu'après que les travaux préparatoires auront été poussés dans le banc *de galeries* jusqu'aux limites de la masse ou de la propriété de l'exploitant, qu'il lui sera loisible d'attaquer le banc de *bas-fonds* partout où il croira pouvoir le faire avec avantage, mais en commençant toujours par les parties les plus éloignées du puits, et laissant les terres et les débris dans les galeries pour remblais.

Art. XXVI. On pourra en même temps attaquer aussi le banc de *plafond*, dont l'extraction déterminera la chute du banc de *boule* et facilitera l'exploitation du banc *gris* et des bancs supérieurs, et l'on procédera ainsi, en passant successivement d'une galerie à l'autre et battant en retraite, jusqu'au puits, dont on n'attaquera les piliers de soutènement qu'après l'autorisation du préfet.

Art. XXVII. Dans toutes les carrières souterraines dont les eaux ne s'écouleraient pas naturellement par les failles ou entonnoirs qui traversent souvent le gypse, il y sera suppléé par un puisard placé vers l'endroit le plus bas du sol et traversant les bancs du *bas-fonds* jusqu'au banc de *sable*, lequel puisard aura son orifice garanti contre les éboulemens par une margelle recouverte d'une voûte ou chapeau en pierres, qui sera percée de plusieurs ouvertures au niveau du sol, pour l'écoulement des eaux.

Ce puisard devra surtout être en bon état et bien garanti à l'époque de l'abandon des travaux, pour prévenir l'accumulation des eaux, et, par suite, leur irruption dans les exploitations voisines, comme cela est déjà arrivé faute de pareille précaution.

SECTION V.

Dispositions communes à plusieurs modes d'exploitation.

Art. XXVIII. L'exploitation, de quelque genre qu'elle soit, ne pourra être poussée qu'à la distance de dix mètres de chaque côté des chemins à voiture, édifices et constructions quelconques.

Cette distance sera augmentée d'un mètre pour mètre de la hauteur du terrain au dessus de la masse en exploitation.

Art. XXIX. Un massif intact, de six mètres cinquante centimètres d'épaisseur, devra être laissé entre l'extrémité des travaux et les propriétés riveraines situées sur la pente de la masse, sauf toutefois le cas de stipulations contraires entre l'exploitant et les parties intéressées.

Relativement aux autres limites, il n'est dérogé en rien à ce qui est établi soit par le droit commun, soit par les usages locaux.

Art. XXX. Dans le cas où les carrières, *soit à ciel ouvert*, soit par cavage à bouche renfermeraient des excavations considérables où les eaux pourraient s'accumuler sans avoir aucun moyen naturel d'écoulement, il devra être pratiqué, soit pendant leur exploitation, soit avant leur abandon, vers la partie la plus profonde un puisard descendant jusqu'au banc de sable, muni d'un chapeau ou de tel autre moyen préservatoire, comme il est indiqué dans l'article 29 pour les exploitations par puits.

Art. XXXI. Chaque année, au mois de mars, les exploitans adresseront au préfet, par l'intermédiaire du maire de la commune, le plan d'avancement de leurs travaux pendant l'année précédente, ainsi que l'indication de ceux qu'ils se proposent d'exécuter pendant l'année suivante, sur l'échelle de $0^{m},002$ pour mètre.

Art. XXXII. En cas de circonstances particulières qui rendraient nécessaire la coupe des travaux par un plan vertical, le préfet, sur l'avis de l'ingénieur des mines, pourra ordonner que cette coupe soit jointe au plan annuel, dont la production est prescrite par l'article précédent.

Ordonnance du 16 *juillet* 1828, *portant concession de mines de fer dans l'arrondissement d'Alais* (Gard). Mines de fer d'Alais.

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.

Art. I. Il est fait à la société désignée sous la raison Bérard et compagnie concession des mines de fer des terrains calcaires situés dans l'arrondissement d'Alais, département du Gard, compris dans les limites ci-après :

Au nord, à partir du clocher des Salles de Gardon, par une ligne droite dirigée sur le clocher de Meiranne, jusqu'à son intersection avec le milieu de la route royale n°. 106, et à partir de cette intersection, par une ligne droite dirigée sur Rousson jusqu'au clocher de Rousson ;

A l'est, par deux lignes droites dirigées du clocher de Rousson sur le clocher de Saint-Alban, et de ce clocher sur celui de Saint-Jean-du-Pin ;

Au sud, par une ligne droite dirigée du clocher de Saint-Jean-du-Pin sur le moulin de Tremont, jusqu'à son intersection avec une ligne dirigée de Carriviel sur le clocher des Salles ;

A l'ouest, à partir de cette intersection, par ladite ligne de Carriviel aux Salles, jusqu'au clocher des Salles, point de départ.

La surface de la concession est de soixante-trois kilomètres carrés vingt-six hectares, conformément au plan qui restera annexé à la présente ordonnance.

Art. II. La présente concession ne préjudicie en rien aux droits acquis aux concessionnaires des mines de houille dans l'étendue aujourd'hui concédée pour le fer, de pratiquer toutes les ouvertures qui seront reconnues utiles à l'exploitation de la houille existant, soit près de la surface, soit au dessous des terrains calcaires. Les concessionnaires des mines de fer des terrains calcaires seront tenus de souffrir ces ouvertures, ou même le passage à travers leurs propres travaux, s'il est reconnu nécessaire, moyennant une indemnité, qui sera réglée de gré à gré, ou à dire d'experts. En cas de contestation sur la nécessité ou l'utilité de ces ouvertures, il sera statué par le préfet, sur le rapport des

ingénieurs des mines, les deux parties ayant été entendues.

Art. III. Il n'est rien préjugé sur la concession des gîtes de minérai de fer qui peuvent exister dans les terrains houillers de la concession, soit près de la surface du sol, soit au dessous des terrains calcaires. Ladite concession des mines de fer des terrains houillers sera accordée, s'il y a lieu, après une instruction particulière, soit au concessionnaire des mines de fer du terrain calcaire, soit au concessionnaire des mines de houille, soit à d'autres personnes. Dans les deux derniers cas, les concessionnaires des mines de fer d'Alais seront tenus de souffrir l'ouverture des travaux qui seront reconnus indispensables à l'exploitation des mines de fer du terrain houiller, ou même, si cela est nécessaire, le passage dans leurs propres travaux; le tout, s'il y a lieu, moyennant une indemnité, qui sera réglée de gré à gré ou à dire d'experts. En cas de contestation sur la nécessité desdites ouvertures des travaux, il sera statué par le préfet, sur le rapport des ingénieurs des mines, les deux parties ayant été entendues.

Art. IV. Si la poursuite de l'exploitation *fait reconnaître* que les gîtes de minérai s'approchent beaucoup du terrain houiller situé au dessous du terrain calcaire, le concessionnaire du minérai de fer ne pourra exploiter que les minérais dont l'extraction sera reconnue sans inconvénient pour la houille exploitable située dans le voisinage. Dans ce cas même, il se conformera aux mesures qui lui seront prescrites par l'administration, dans l'intérêt de la bonne exploitation de la houille.

Art. V. Dans le délai de trois mois, à dater de la notification de la présente ordonnance, il sera posé des bornes sur tous les points servant de limites à la concession où cette mesure sera reconnue nécessaire; l'opération aura lieu aux frais du concessionnaire, à la diligence du préfet et en présence de l'ingénieur des mines: procès-verbal de cette opération sera déposé à la préfecture du département.

Ordonnance du 16 juillet 1828, portant concession des mines de fer de Bessèges et Robiac, situées dans l'arrondissement d'Alais (Gard).

Mines de fer de Bessèges et Robiac.

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.

Art. Ier. Il est fait au sieur Deveau-Robiac, Lassagne et Filhol, sous le nom de concession des mines de fer de Bessèges et Robiac, concession des mines de fer de toute espèce, situées dans l'arrondissement d'Alais, département du Gard, et limitées par une suite de lignes droites tirées de Peyremalle à Saint-Florent, de Saint-Florent à Meiranne et de Meiranne à Peyremalle.

La surface de cette concession est de dix-neuf kilomètres carrés quatre-vingt-trois hectares, conformément au plan, qui restera annexé à la présente ordonnance.

Art. II. Dans le cas où la propriété de la mine de houille viendrait à être séparée de celle de la mine de fer dans l'étendue aujourd'hui concédée pour le fer, les concessionnaires de la mine de houille conserveront le droit de pratiquer toutes les ouvertures qui seront reconnues utiles à l'exploitation de la houille existant, soit près de la surface, soit au dessous des terrains calcaires. Les concessionnaires des mines de fer des terrains calcaires seront tenus de souffrir ces ouvertures, ou même le passage à travers leurs propres travaux, s'il est reconnu nécessaire, moyennant une indemnité qui sera réglée de gré à gré ou à dire d'experts. En cas de contestation sur la nécessité ou l'utilité de ces ouvertures, il sera statué par le préfet, sur le rapport des ingénieurs des mines, les deux parties ayant été entendues.

Art. III. Dans le délai de trois mois, à dater de la notification de la présente ordonnance, il sera posé des bornes sur tous les points servant de limites à la concession où cette mesure sera reconnue nécessaire. L'opération aura lieu aux frais du concessionnaire, à la diligence du préfet et en présence de l'ingénieur des mines. Procès-verbal de cette opération sera déposé à la préfecture.

Art. VII. Le concessionnaire sera tenu de se conformer exactement aux clauses et conditions du cahier des

charges arrêté en conseil général des mines et approuvé par notre directeur général des ponts et chaussées et des mines.

Ce cahier restera annexé à la présente ordonnance.

Mine de fer de Calmoutier.

Ordonnance du 16 *juillet* 1828, *portant concession d'une mine de fer située en la commune de Calmoutier* (Haute-Saône).

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.

Art. Ier. Il est fait concession aux sieurs Galaire et Patret et de Pourtalès de la mine de fer existant dans la commune de Calmoutier, département de la Haute-Saône.

Art. II. Cette concession est limitée ainsi qu'il suit :

Au nord, par une ligne droite allant de l'angle nord d'un champ appartenant au sieur Jean-François *Pelletier*, qui est situé au canton de Châtillon, angle où sera plantée une borne en pierre, au point où le chemin des carrières de Calmoutier à Colombotte et à Saulx est traversé par le fossé qui longe le bois dit la Craye;

A l'est, par une ligne droite allant dudit point de rencontre du chemin de Calmoutier à Colombotte et à Saulx par le fossé qui longe le bois dit la Craye, à un chêne qui se trouve à l'angle nord-est du bois du Frays, sur le chemin de Calmoutier à Noroy ;

Au sud, par une ligne droite allant dudit chêne, situé sur le chemin de Calmoutier à Noroy, à l'angle est de la maison du sieur Berthod, située au canton dit Roncourt ;

A l'ouest, par une ligne droite allant dudit angle est de la maison du sieur Berthod à l'angle nord du champ du sieur Pelletier, point de départ.

Les limites ci-dessus comprennent une étendue superficielle de deux kilomètres carrés soixante-deux hectares, conformément au plan, qui demeurera annexé à la présente ordonnance.

Art. III. Dans le délai de six mois, à partir de la notification de la présente ordonnance, il sera posé des bornes sur

tous les points servant de limites à la concession où cette mesure sera reconnue nécessaire. L'opération aura lieu aux frais des concessionnaires, à la diligence du préfet et en présence de l'ingénieur des mines, qui en dressera procès-verbal, lequel sera déposé aux archives de la préfecture.

ART. IV. Les concessionnaires se conformeront exactement au cahier des charges souscrit les 6 janvier et 8 avril 1828, et qui restera annexé à la présente.

ORDONNANCE du 16 juillet 1828, portant autorisation d'établir une usine à fer mue par la vapeur, en la commune de Saint-Laurent-Blangy (Pas-de-Calais).

Usine à fer de Saint-Laurent-Blangy.

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.

ART. Ier. Les sieurs Godart-Vallé et Malisset sont autorisés à établir une usine à fer, mue par la vapeur, dans la commune de Saint-Laurent-Blangy, département du Pas-de-Calais.

ART. II. La consistance de cette usine est et demeure fixée, conformément aux plans de situation et de détails joints à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit :

Quatre fourneaux à réverbère ;

Deux machines à vapeur, et les feux de forges, marteaux et laminoirs nécessaires.

ART. III. Les constructions relatives aux fourneaux, machines et artifices seront exécutées sous la surveillance de l'ingénieur des mines, qui s'assurera que l'ordonnance royale du 29 octobre 1823 a été observée dans l'établissement des machines à vapeur, et dressera procès-verbal du tout après l'achèvement des travaux.

Copies de ce procès-verbal seront déposées aux archives de la préfecture du Pas-de-Calais et à celles de la mairie de Saint-Laurent-Blangy. Il sera donné avis de ce dépôt à notre conseiller d'Etat, directeur général des ponts et chaussées et des mines.

ART. IV. Les impétrans ne pourront employer dans leur usine aucun autre combustible que de la houille.

Usine à fer de la Chapelle-Montbrandeix.

ORDONNANCE du 23 juillet 1828, portant que le sieur Montazeau *est autorisé à conserver et tenir en activité l'usine à fer dite* Forge-Basse, *qu'il possède en la commune de la Chapelle-Montbrandeix* (Haute-Vienne), *et que cette usine est et demeurera composée d'un feu d'affinerie et d'un marteau, suivant le plan de situation et de détails joint à la présente ordonnance.*

Mines de plomb de Propières.

ORDONNANCE du 23 juillet 1828, portant concession de mines de plomb de Propières (Rhône).

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.

ART. Ier. Il est fait aux sieurs de Marnas et Philippon, sous le nom de concession de Propières, concession des mines de plomb existant dans l'arrondissement de Villefranche, département du Rhône, comprises dans les limites ci-après:

A partir de l'église paroissiale de Propières, une ligne droite dirigée vers l'angle le plus au nord du hameau des Condemines;

De cet angle, une ligne droite dirigée vers la trève de Patoux, voisine de la source d'Azergues, jusqu'au point où cette ligne coupe une autre ligne droite tirée du château de la Farge au hameau des Fourches;

Du point d'intersection ci-dessus, une ligne droite tirée à l'angle le plus à l'est du hameau des Fourches;

De l'angle le plus à l'est du hameau des Fourches, une ligne droite tirée à l'angle le plus au sud des habitations de la Voisinée;

De l'angle le plus au sud des habitations de la Voisinée, une ligne droite dirigée vers l'angle le plus à l'ouest du hameau du Cul-de-Loup, jusqu'au point où cette ligne coupe une autre ligne droite tirée des Écharmaux à l'église paroissiale de Propières;

Du point d'intersection ci-dessus, une ligne droite tirée à l'église paroissiale de Propières, point de départ.

Les limites ci-dessus embrassent une étendue superficielle de cinq kilomètres carrés quatre-vingt-dix-huit hectares, conformément au plan, qui restera annexé à la présente ordonnance.

Art. VI. Les impétrans se conformeront exactement aux clauses et conditions du cahier des charges arrêté en conseil général des mines, et approuvé par notre directeur général des ponts et chaussées et des mines. Ce cahier restera annexé à la présente.

Cahier des charges pour la concession des mines de plomb de Propières.

(Extrait.)

Art. Ier. Le mode des travaux d'exploitation des divers gîtes de minérai de plomb sulfuré contenus dans la concession sera déterminé par le préfet, sur la proposition des concessionnaires et sur le rapport de l'ingénieur des mines.

Art. II. A cet effet, le concessionnaire adressera au préfet, dans le délai qui lui sera indiqué, les plans et coupes de l'intérieur de sa mine, dressés sur l'échelle d'un millimètre par mètre et divisés en carreaux de dix en dix millimètres. Ces plans seront accompagnés d'un mémoire indiquant le mode circonstancié des travaux que le concessionnaire se propose d'entreprendre. L'indication du mode des travaux sera aussi tracée sur les plans et coupes.

Usine à fer de la Chapelle-Montbrandeix.

Ordonnance du 30 *juillet* 1828, *portant que le sieur* Fleurat-Lessard *est autorisé à conserver et tenir en activité l'usine à fer dite* Forge-Haute, *qu'il possède en la commune de la Chapelle-Montbrandeix* (Haute-Vienne), *et que la consistance de cette usine est et demeure fixée à un feu d'affinerie et un marteau, conformément au plan de masse et de détails joint à la présente ordonnance.*

Mines de houille de Gouhenans.

ORDONNANCE du 30 juillet 1828, portant concession des mines de houille de Gouhenans, arrondissement de Lure (Haute-Saône).

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.

ART. Ier. Il est fait concession aux sieurs Philippe-Auguste Parmentier, Marie-Blaise-Amable Grillet et compagnie, sous le nom de concession de Gouhenans, des mines de houille situées, suivant la délimitation indiquée ci-après, sur les territoires des communes de Gouhenans, d'Athesans, du Val-de-Longevelle, de Villefans et des Aynans, arrondissement de Lure, département de la Haute-Saône.

ART. II. Cette concession, dont l'étendue superficielle est de treize kilomètres carrés soixante-dix-huit hectares, conformément au plan qui restera annexé à la présente ordonnance, est limitée ainsi qu'il suit, savoir :

Au nord, par une ligne droite allant du clocher des Aynans au pignon sud de la maison du sieur Elion, située dans le village du Val ;

A l'est, par une ligne droite allant dudit pignon sud de la maison du sieur Elion au clocher d'Athesans ;

Au sud, par deux lignes droites allant l'une dudit clocher d'Athesans au clocher de Villefans, et l'autre de ce dernier clocher à celui de Longevelle ;

A l'ouest, enfin, par une ligne droite allant dudit clocher de Longevelle à celui des Aynans, point de départ.

ART. VI. Ils paieront dans le délai de trois mois, à dater de la notification de la présente ordonnance, aux sieurs de Chambon Vuilleret et compagnie, héritiers des sieurs Berthod et Lamotz, qui ont découvert les gîtes de houille de Gouhenans sans en faire une reconnaissance complète, la somme de vingt mille francs, en exécution de l'article 16 de la loi du 21 avril 1810.

Cahier des charges pour la concession des mines de houille de Gouhenans.

(Extrait.)

Art. Ier. Dans le mois qui suivra la notification de l'ordonnance de concession, des sondages seront commencés : 1°. dans le vallon situé sud-ouest du puits n°. 5, au point I, à l'effet de reconnaître si le gîte s'étend dans le vallon, à quel niveau il s'y trouve, et s'il peut être avantageux d'y établir une galerie d'écoulement ; 2°. dans le vallon ST, situé au sud-sud-est du puits n°. 4, à l'effet de reconnaître la profondeur à laquelle se trouve la couche de houille en ce point, et s'il peut être avantageux d'y établir une galerie d'écoulement.

Art. II. Dès que ces travaux auront fourni les éclaircissemens nécessaires, le fonçage du puits d'extraction et le percement de la galerie d'écoulement seront ordonnés, s'il y a lieu, par le préfet, sur le rapport des ingénieurs des mines, et après que les concessionnaires auront été entendus.

Art. III. Le préfet pourra, de la même manière, ordonner alors 1°. l'approfondissement du puits n°. 5 et sa mise en communication avec l'aval pendage du gîte, au moyen d'une bachure ; 2°. la continuation ou l'abandon provisoire des ouvrages du puits n°. 4, dans lequel les travaux seront suspendus jusqu'à cette époque.

Art. IV. Les travaux d'exploitation seront continués dans les ouvrages des puits nos. 4 et 5, en se conformant, autant que faire se pourra, aux dispositions générales des articles suivans.

Art. V. L'exploitation des gîtes houillers de Gouhenans aura lieu par zones successives, en remontant vers le jour et en se rapprochant des puits. La profondeur de ceux-ci et celle où l'on commencera l'exploitation de la houille seront déterminées par le préfet, sur le rapport de l'ingénieur des mines, et les concessionnaires ayant été préalablement entendus.

Art. VI. Les concessionnaires seront tenus d'établir des

canaux pour conduire les eaux de la mine, lorsque ces eaux seront reconnues vitrioliques, soit à la rivière du Rahin, soit à d'autres cours d'eau.

Art. VII. Lorsque les concessionnaires voudront ouvrir un nouveau champ d'exploitation, ils en feront la déclaration au préfet, six mois à l'avance.

Cette déclaration sera accompagnée du tracé des travaux qu'ils se proposent d'exécuter et d'un mémoire explicatif.

Le préfet, sur le rapport des ingénieurs, autorisera ou modifiera les travaux proposés par les concessionnaires.

Art. VIII. A la fin de la première année d'exploitation, dans le courant de janvier, les concessionnaires adresseront au préfet les plans de leurs travaux avec deux coupes, l'une suivant la direction de la couche exploitée, et l'autre suivant son inclinaison. Ces plans et coupes seront dressés sur l'échelle d'un millimètre pour mètre et divisés en carreaux, etc.

Usines à fer de Blanc-Murger et de la Fargette.

Ordonnance du 30 juillet 1828, concernant les usines à fer de Blanc-Murger et de la Fargette, situées sur le ruisseau de Saint-Mouze (Vosges).

(Extrait.)

Charles, etc., etc., etc.,

Art. Ier. Les sieurs Vinez frères sont autorisés à conserver et tenir en activité, conformément aux plans et profils, au nombre de onze, qui resteront annexés à la présente ordonnance :

1°. L'usine dite de Blanc-Murger, située sur le ruisseau de Saint-Mouze, commune de Bellefontaine, département des Vosges, consistant en deux feux d'affinerie pour la fabrication du fer, et en deux tréfileries avec leurs accessoires, tels que cylindres, etc., dont la consistance est fixée par l'état du cours d'eau réglé en l'article 3 ci-après ;

2°. L'usine de la Fargette, située sur le même ruisseau de Saint-Mouze, commune de Ruaux, arrondissement de Remiremont, consistant 1°. en un feu d'affinerie pour la fabrication du fer ; 2°. en une tréfilerie avec ses accessoi-

res, tels que cylindres étireurs, etc., dont la consistance est fixée par l'état du cours d'eau tel qu'il est à l'article 3.

ORDONNANCE du 30 juillet 1828, portant concession des mines de plomb sulfuré de Mesmon, situées en la commune de Saint-Christophe (Saône-et-Loire).

Mines de plomb sulfuré de Mesmon.

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.,

ART. Ier. Il est fait concession aux sieurs de Busseuil, Dupeyroux, Berland et Meilheurat des mines de plomb sulfuré de Mesmon, commune de Saint-Christophe, département de Saône-et-Loire.

ART. II. Cette concession, renfermant une étendue superficielle de cent quarante et un hectares, est et demeure limitée, conformément au plan joint à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

Au nord, de B à C, par l'ancien chemin de Briant à la Clayette, passant par le hameau de la Replâtrière et vers la maison de Jean Ledun au bois Bouton ;

A l'est, de C à D, par le chemin tendant d'Oyé à Fernier, passant par la cime du bois Bouton, vers les maisons de la veuve Musset, de Berthelier et de Claude Nevers, par le train de Valtain, jusqu'à l'angle nord-ouest de la maison des héritiers Ragnat, joignant la descente de Crusille ;

Au midi, de D en E, par une ligne droite partant de cette dernière maison, traversant le grand pré Saint-Christophe, puis la terre de Remarches, appartenant au sieur de Busseuil, et aboutissant, au sortir de cette terre, à la pointe du chemin de Daltain à Montsac; de E en F, par ce même chemin; de F en G, par le chemin de Montsac à Saint-Christophe, en passant vers la maison et enclos du sieur Berland jusqu'à la rencontre de ce chemin avec celui de Saint-Christophe à Varennes;

A l'ouest, de G en H, par le chemin de Saint-Christophe à Varennes, jusqu'à l'angle nord-ouest du jardin de Marc

l'Affouilloux ; de H en B, point de départ, par le chemin venant de la Noierie, passant vers la maison de l'Affouilloux et allant aboutir à l'ancien chemin de Briant à la Clayette, déjà mentionné.

Art. III. Les concessionnaires se conformeront exactement aux clauses et conditions du cahier des charges qu'ils ont souscrit. Ce cahier demeurera annexé à la présente ordonnance, qui sera publiée et affichée aux frais des concessionnaires dans les communes sur lesquelles s'étend la concession.

Cahier des charges pour la concession des mines de plomb sulfuré de Mesmon.

(Extrait.)

Art. Ier. Immédiatement après l'obtention de la concession, les demandeurs se mettront en mesure de reconnaître, par des tranchées sur les affleuremens et par quelques puits pratiqués dans l'épaisseur des couches de la formation métallifère, l'allure et l'importance du gîte de galerie à exploiter.

Art. II. Dès qu'il y aura possibilité de recourir utilement à un système régulier d'exploitation, les concessionnaires seront tenus de rédiger un projet de travaux et de l'adresser au préfet, lequel, sur le rapport des ingénieurs des mines, pourra l'approuver ou le modifier, sauf recours, s'il y a lieu, devant le ministre de l'intérieur. Aussitôt que le mode d'exploitation aura été définitivement réglé, les concessionnaires seront tenus de s'y conformer.

Chaque année, dans sa tournée, l'ingénieur des mines constatera l'état des recherches, afin de reconnaître l'époque où il conviendra d'arrêter un projet de travaux réguliers, et de rappeler auxdits concessionnaires l'obligation qui leur est imposée de le présenter.

Art. III. En exécution de l'article 14 de la loi du 21 avril 1810, les concessionnaires ne pourront confier la direction de leurs mines qu'à un individu qui aura justifié des facultés nécessaires pour bien conduire les travaux, etc.

Ordonnance du 6 *août* 1828, *portant que les sieurs* Blum *père et fils sont autorisés à établir, conformément au plan joint à la présente ordonnance, trois lavoirs à bras pour le lavage du minérai de fer, sur un terrain qu'ils tiennent à bail des sieurs* Mailley *et* Friant, *au lieu dit* la Fontaine de Faulx, *et* Pré du Jardinet, *commune de Lieffrans, arrondissement de Vesoul* (Haute-Saône).

Lavoirs à bras de Lieffrans.

Ordonnance du 6 *août* 1828, *portant que le sieur* César-Réné de Choiseul *est autorisé à établir, conformément aux plans de masse et de détails joints à la présente ordonnance, un haut-fourneau pour le traitement du minérai de fer, en remplacement de l'un des moulins à farine qu'il possède sur l'étang du Pas, commune de Laufains* (Côtes-du-Nord).

Haut-fourneau de Laufains.

Ordonnance du 13 *août* 1828, *portant que les sieurs* Manby, Wilson *et* Compagnie, *propriétaires des usines du Creusot, sont autorisés à établir, conformément au plan joint à la présente ordonnance, un patouillet à roue pour le lavage du minérai de fer, sur la rivière d'Heune, au lieu dit le* Moulin-des-Ponts, *commune de Chagny* (Saône-et-Loire).

Patouillet de Chagny.

Ordonnance du 13 *août* 1828, *portant que le sieur* Veran-Chabran *est autorisé à établir, conformément au plan joint à la présente ordonnance, un laminoir à cuivre et à plomb, en rem-*

Laminoir à cuivre et à plomb du Cheval-Blanc.

placement de l'un des deux tournans du moulin à farine qu'il possède sur le canal de Saint-Julien, commune du Cheval-Blanc (Vaucluse).

Mines de houille de Trélys.

ORDONNANCE du 27 août 1828, portant concession des mines de houille de Trélys et de Palmesalade (Gard).

(Extrait.)

CHARLES, etc., etc., etc.

ART. Ier. Il est fait à la société, désignée sous la raison Berard et compagnie, sous le nom de concession de Trélys et Palmesalade, concession des mines de houille situées dans l'arrondissement d'Alais (Gard) et comprises dans les limites ci-après :

A l'ouest, à partir du Haut-Mercoyrol, une suite de lignes droites tirées : à l'assise des Trois-Seigneurs, de l'assise des Trois-Seigneurs à l'église de Notre-Dame-de-Palmesalade, et de Notre-Dame-de-Palmesalade au château de Portes, jusqu'à son intersection avec le prolongement d'une ligne droite tirée de Devois à la Rouvière ;

Au nord, à partir de cette intersection, ladite ligne de la Rouvière à Devois jusqu'à Devois ; puis une suite de lignes droites dirigées de Devois à Courcoulouse, de Courcoulouse à Lagrange ; de Lagrange à Clamont, cette dernière prolongée jusqu'à la rencontre de la ligne tirée des Bousiges à Peyremalle, puis cette ligne des Bousiges à Peyremalle, depuis son intersection avec la ligne précédente, jusqu'à Peyremalle ;

A l'est, une ligne droite tirée de Peyremalle à Saint-Florent, passant par le sommet de Lucan ;

Au sud, une ligne droite tirée de Saint-Florent au Haut-Mercoyrol.

La surface de cette concession est de dix-huit kilomètres carrés vingt-sept hectares, conformément au plan qui restera annexé à la présente ordonnance.

. . . .

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CE VOLUME.

Géologie et Minéralogie.

Minérallurgie ; Arts qui en dépendent.

Mécanique.

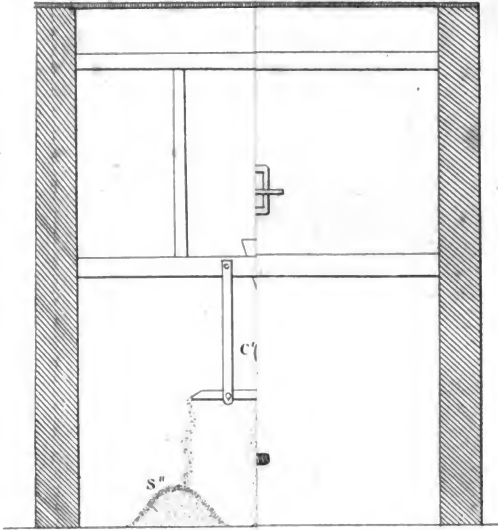
Physique et objets divers.

Ordonnances royales concernant les mines.

Planches jointes à ce Volume.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

...t de Cuivre en Cornou...



Fig

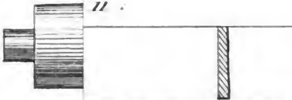


Fig .

